



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Proyecto de montaje de una impresora Prusa i3 y desarrollo de un manual práctico para impresora

TRABAJO DE FIN DE GRADO

MEMORIA

Autor:	Daniel Arriazu Hernando
Directora:	Montserrat Sánchez Romero
Co-director:	Rafael Weyler Pérez
Grado:	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
Fecha de entrega:	08/03/2019

Agradecimientos

Antes de presentar el proyecto, me gustaría agradecer a todas las personas que directa o indirectamente me han apoyado a lo largo de mi recorrido académico y me han incentivado para seguir siempre hacia adelante.

Deseo dar las gracias al profesorado de la ESEIAAT por ofrecerme las bases, tanto teóricas como prácticas, necesarias para erigirme como ingeniero industrial.

Mi más sincera gratitud y cariño hacia mi familia que día tras día han sido el sustento emocional necesario para salir adelante en cada una de las decisiones y dificultades que me he encontrado a lo largo del camino.

Por último, quiero agradecer a todos mis amigos con los que he compartido grandes experiencias tanto dentro como fuera de la facultad. Ellos han sido el principal aliciente para ir a la universidad cada día.



I declare that

the work in this Master Thesis / Degree Thesis (choose one) is completely my own work,

no part of this Master Thesis / Degree Thesis (choose one) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (choose one) related information I'm providing in this document (select when it applies).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Daniel Amador Hernandez

Student Name

10/06/2019

Date

Title of the Thesis : Proyecto de montaje de una
impresora Prusa i3 y desarrollo de un
manual práctico para impresora.





Tabla de contenido

Agradecimientos	1
1. Introducción	9
1.1. Objetivo	9
1.2. Justificación	9
1.3. Alcance de la ingeniería básica	10
1.4. Requisitos básicos	10
2. Estado del arte	11
3. Introducción a la impresión 3D	12
3.1. Apunte histórico – Primeros modelos.....	12
3.2. Aplicaciones de la impresión 3D	13
3.3. Técnicas de impresión.....	15
3.3.1. Impresión por depósito de filamento fundido.....	15
3.3.2. Impresión por fotopolimerización.....	16
3.3.3. Impresión por fusión de lechos de polvo.....	18
3.4. Materiales para impresión	19
4. Selección de un kit de impresora 3D.....	21
4.1. Criterios de elección.....	21
4.2. Modelos de impresoras 3D personales más populares	23
4.3. Selección del kit de impresora	29
5. La impresora 3D por FDM: componentes y software	30
5.1. Componentes básicos de un kit de impresora	30
5.1.1. Piezas estructurales – mecánicas	31
5.1.2. Piezas impresas	32
5.1.3. Partes eléctricas	33
5.1.4. Extrusor y boquilla.....	34
5.1.5. Componentes electrónicos	36
5.2. Software	37
5.2.1. Flujo del proceso de información.....	37
5.2.2. Software intrínseco de la impresora	38
5.2.3. Software exclusivo del ordenador.....	38
5.3. Puntos a tener en cuenta – Consejos.....	39
5.3.1. Especificaciones básicas de cualquier impresora 3D por FDM	40
5.3.2. Limitaciones de las impresoras con un extrusor	41

5.3.3.	Corrección de modelos en el laminador	41
5.3.4.	Conexión PC – impresora	42
6.	Puesta en práctica	43
6.1.	Criterios previos – preparación de la impresora	43
6.1.1.	Comprobaciones manuales – impresora apagada	43
6.1.2.	<i>Homing</i>	44
6.1.3.	Nivelación de la base – ajuste eje Z.....	45
6.1.4.	Introducir y retirar filamento	46
6.2.	Fases de impresión.....	47
6.2.1.	Modelado	47
6.2.2.	Preparación	48
6.2.3.	Impresión	50
6.2.4.	Acabado.....	51
6.3.	Defectos de impresión y problemática	53
7.	Resultados y propuestas de mejora	57
7.1.	Incidencias en el proceso de montaje.....	57
7.2.	Mejoras aplicadas.....	58
7.2.1.	Cilindro coaxial al portafilamentos	59
7.2.2.	Sujeción de la fuente de alimentación mediante tiras de velcro.....	60
7.2.3.	Portacables elásticos de plástico.....	61
7.2.4.	Acople con interruptor para encendido/apagado	62
7.2.5.	Punteras huecas aisladas para cables	63
8.	Presupuesto	64
9.	Conclusiones.....	66
10.	Líneas futuras	67
11.	Bibliografía	68
12.	Anexos.....	70
12.1.	ANEXO 1 - Instalación y configuración de Cura.....	70
12.2.	ANEXO 2 – Menú LCD.....	76
12.3.	ANEXO 3 – Tabla de materiales más empleados.....	79
12.4.	ANEXO 4 – Tabla de ponderación de los kits de impresora	82
12.5.	ANEXO 5 – Manual de montaje PRUSA P3 Steel PRO	84

Tabla de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: SLA-250 DE 3D SYSTEMS BASADA EN LA TÉCNICA DE ESTEREOLITOGRAFÍA. FUENTE: 3DSYSTEMS	12
ILUSTRACIÓN 2: IMPRESIÓN EN 3D DE UNA OREJA POR EL WFIRM. FUENTE: WALKER FOREST INSTITUTE REGENERATIVE MEDICINE	13
ILUSTRACIÓN 3: MODELOS DE CORAZÓN IMPRESOS EN 3D PARA SIMULACIÓN QUIRÚRGICA. FUENTE: 3D PRINTING IN MEDICINE (2016)	14
ILUSTRACIÓN 4: CORONA DE CHOCOLATE IMPRESA EN 3D. FUENTE: CHOCEDGE	14
ILUSTRACIÓN 5: ESQUEMA FDM CON DOBLE EXTRUSOR. FUENTE: EDDM	16
ILUSTRACIÓN 6: ESQUEMA DEL PROCESO POR ESTEREOLITOGRAFÍA. FUENTE: RESEARCHGATE	17
ILUSTRACIÓN 7: ESQUEMA DEL PROCESO POR POLYJET. FUENTE: 3DVISUALPROTOTIPOS	17
ILUSTRACIÓN 8: MODELO DE IMPRESORA DE LA EMPRESA ARCAM DE TIPO EBM. FUENTE: ARCAM	18
ILUSTRACIÓN 9: ESQUEMA DEL PROCESO POR SLS. FUENTE: REPLICANT 3D	19
ILUSTRACIÓN 10: IMPRESORA ANET 8. FUENTE: ANET3D.COM	24
ILUSTRACIÓN 11: BQ HEPHESTOS 2. FUENTE: BQ.COM	27
ILUSTRACIÓN 12: ENDER 3 DE CREALITY. FUENTE: ES.CREALITY3DONLINE	28
ILUSTRACIÓN 13: ESQUEMA DE LOS GRUPOS DE COMPONENTES BÁSICOS DE CUALQUIER KIT DE IMPRESORA 3D.	31
ILUSTRACIÓN 14: KIT PRUSA I3 STEEL PRO DE BOLOBERRY CON MARCO TIPO PÓRTICO DE ALUMINIO. FUENTE: BOLOBERRY	32
ILUSTRACIÓN 15: REPRAP 1.0 DARWIN. FUENTE: REPRAP.ORG/WIKI	33
ILUSTRACIÓN 16: KIT DE PIEZAS ESTRUCTURALES IMPRESAS EN 3D PARA IMPRESORA. FUENTE: IFUSIONSHOP	33
ILUSTRACIÓN 17: EXTRUSOR DE ACCIONAMIENTO DIRECTO. FUENTE: PROPIA	35
ILUSTRACIÓN 18: CONEXIÓN COMPONENTES A RAMPS 1.4. FUENTE: HTA3D.COM	36
ILUSTRACIÓN 19: ESQUEMA DEL FLUJO DEL PROCESO DE INFORMACIÓN PARA IMPRIMIR EN 3D	37
ILUSTRACIÓN 20: A LA IZQUIERDA, IMPRESORA DAGOMA DISCO ULTIMATE CON 1 EXTRUSOR. A LA DERECHA, IMPRESORA DAGOMA TWO- COLOR DISCO ULTIMATE CON 2 EXTRUSORES. FUENTE: DAGOMA.FR	41
ILUSTRACIÓN 21: EJEMPLO DE NIVELACIÓN DEL EJE X	44

ILUSTRACIÓN 22: POSICIÓN DE HOMING	45
ILUSTRACIÓN 23: AJUSTE DE LA ALTURA DEL EJE Z CON UN FOLIO DE PAPEL.	45
ILUSTRACIÓN 24: INTRODUCCIÓN DE FILAMENTO EN EXTRUSORES MK8	47
ILUSTRACIÓN 25: PIEZA DE CALIBRACIÓN PARA PRIMERA IMPRESIÓN (CUBO XYZ).....	49
ILUSTRACIÓN 26: RESULTADO DE LA LAMINACIÓN DEL CUBO XYZ Y TIEMPO ESTIMADO DE IMPRESIÓN.	50
ILUSTRACIÓN 27: RESULTADO DE LA PRIMERA IMPRESIÓN, XYZ CUBE.	51
ILUSTRACIÓN 28: COMPARACIÓN PIEZA CON "UNDER-EXTRUSSION" Y CUBO XYZ IMPRESO (DERECHA).....	52
ILUSTRACIÓN 29: COMPARACIÓN PIEZA CON SEPARACIÓN ENTRE CAPAS Y CUBO XYZ IMPRESO.....	52
ILUSTRACIÓN 30: INCIDENCIA (B). FALTA DE ADHERENCIA DEL PLÁSTICO A LA BASE	53
ILUSTRACIÓN 31: INCIDENCIA (C). IZQUIERDA: TRAMO FINAL DEL EXTRUSOR. DERECHA: PROCESO DE DESATASCO DEL NOZZLE.....	54
ILUSTRACIÓN 32: INCIDENCIA (D). LA PIEZA NO PUEDE SEPARARSE DE LA BASE DE VIDRIO.....	55
ILUSTRACIÓN 33: INCIDENCIA (F). DESPLAZAMIENTO DE LA IMPRESIÓN HACIA LA PARTE TRASERA DEL EJE Y. ...	56
ILUSTRACIÓN 34: RODAMIENTO LINEAL LM8UU CON SOPORTE. FUENTE: TODOELECTRONICA.COM.....	58
ILUSTRACIÓN 35: IZQUIERDA. SOPORTE CILÍNDRICO PARA BOBINA IMPRESO EN 3D. DERECHA: CONJUNTO SOPORTE Y CARRETE DE BOBINA.....	59
ILUSTRACIÓN 36: IZQUIERDA. DETALLE DEL CONJUNTO SOPORTE Y CARRETE DE BOBINA. DERECHA. VISIÓN COMPLETA DE LA IMPRESORA CON LA BOBINA DE FILAMENTO	60
ILUSTRACIÓN 37: TIRAS DE VELCRO ADHERIDAS EN LA SUPERFICIE DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	60
ILUSTRACIÓN 38: TIRAS DE VELCRO ADHERIDAS EN EL COSTADO LATERAL IZQUIERDO DE LA ESTRUCTURA.	61
ILUSTRACIÓN 39: PORTACABLES FLEXIBLE PARA EL CONJUNTO DE CABLES DEL EXTRUSOR.	61
ILUSTRACIÓN 40: PORTACABLES FLEXIBLE PARA CABLEADO DEL EXTRUSOR Y DE LOS MOTORES.....	62
ILUSTRACIÓN 41: PUNTERAS HUECAS AISLADAS. FUENTE: MANOMANO.ES	63
ILUSTRACIÓN 42: MEJORA DE PROTECCIÓN DEL EXTREMO DE LOS CABLES MEDIANTE PUNTERAS HUECAS AISLADAS.	63
ILUSTRACIÓN 43: VENTANA EMERGENTE ASISTENTE DE INSTALACIÓN CURA.....	71
ILUSTRACIÓN 44: VENTANA SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL ASISTENTE DE INSTALACIÓN DE CURA.....	72

ILUSTRACIÓN 45: MENÚ DE AÑADIR IMPRESORA EN CURA.....	73
ILUSTRACIÓN 46: INTERFAZ PRINCIPAL DE ULTIMAKER CURA (PREPARAR)	73
ILUSTRACIÓN 47: BOCETO DE LOS COMPONENTES DE LA PANTALLA LCD	76
ILUSTRACIÓN 48: INTERFAZ PRINCIPAL PANTALLA LCD	76

1. Introducción

1.1. Objetivo

El objetivo principal de este proyecto de fin de grado es aportar, a modo de manual de montaje, una guía práctica del proceso de ensamblaje de una impresora 3D a elección del autor. Dicho manual debe ofrecer una descripción detallada de los pasos a seguir para ensamblar toda la estructura a partir de sus componentes. Esto también incluye todo tipo de explicaciones relativas al software de laminado.

Además, se busca ofrecer posibles mejoras sobre el kit base que corrijan errores comunes que puedan afectar en la calidad de la impresión.

Por otro lado, con esta tesis el autor desea iniciarse en el mundo de la impresión 3D y adquirir experiencia suficiente para posteriormente convertirlo en un hobby.

1.2. Justificación

El siglo XXI está marcando, a pasos agigantados, un desarrollo desmesurado en el campo de la tecnología. Una tecnología que no solo tiene aplicación en el ámbito industrial sino también en el social o personal.

La facilidad actual para acceder a los últimos lanzamientos tecnológicos ha llevado tanto a expertos y aficionados como a desconocedores del sector a adquirir nuevos gadgets y formarse de modo autodidacta. La impresión 3D es, sin lugar a duda, parte de las últimas innovaciones y de los caprichos de la sociedad.

En el sector profesional, las impresoras 3D han facilitado la plasmación visual de proyectos de ingeniería o diseño. Ha supuesto, en muchos procesos industriales de baja tirada, la reducción de costes en la producción de elementos de plástico y cerámica, sustituyendo las tecnologías de inyección y extrusión y la complicación técnica que éstas pueden comportar. En campos como la medicina, ha permitido la creación de baipases y otros dispositivos de tamaño reducido personalizables. Incluso existen aplicaciones en la industria de la alimentación que podrían revolucionar el concepto de cocina.

En el ámbito particular y doméstico, las impresoras 3D de sobremesa, muchas de ellas vendidas en formato “kit” y no ensambladas, han sido objeto de nuevos hobbies y pasatiempos. Los amantes del diseño hallan en la impresión en tres dimensiones la creación de modelos para la solución de problemas cotidianos, mientras que los simples aficionados disfrutan con la creación de figuras en plástico. De todos modos, hay muchos usuarios que por devoción a las manualidades o a los pasatiempos de construcción se decantan por el montaje de una impresora 3D desde sus cimientos. Ambos motivos han llevado al autor a iniciarse gracias a este proyecto en el mundo de la impresión 3D para posteriormente, una vez finalizado lo que empezó siendo un trabajo universitario, acabe como un hobby personal.

1.3. Alcance de la ingeniería básica

A continuación, se establecen los puntos que abarca la ingeniería básica:

- El proyecto incluye una introducción a la impresión 3D y a la técnica por deposición por filamento fundido (FDM).
- El manual de montaje debe explicar con detalle todos los pasos a seguir, estructurándolos en apartados. Si es necesario, debe incluir un seguido de notas y comentarios de posibles errores o puntos a tener en cuenta y aportar un listado ordenado de todas las piezas.
- El diseño de la electrónica, estructura y mecanismos del kit de impresora no forman parte de la ingeniería básica.
- Se explicará detalladamente en la memoria todos los errores hallados durante el montaje de la impresora y cómo se solucionaron. Del mismo modo se procederá con los problemas hallados tras la primera impresión.
- Se llevarán a la práctica mejoras que perfeccionen el funcionamiento o montaje de la impresora 3D. En ningún caso su coste debe exceder del valor fijado en los requisitos básicos.
- No se modificará el firmware de control, Marlin.

1.4. Requisitos básicos

Aunque tanto la introducción, desarrollo y conclusiones del proyecto no exigen numerables y estrictos requisitos, es necesario exponer los indispensables para una correcta evaluación posterior de los resultados. La siguiente lista los expone:

- El coste total del proyecto no puede superar los 5.200 euros.
- El coste del kit de la impresora no puede exceder los 500 euros. Su precio tampoco puede ser inferior a 210.
- La impresora escogida no debe venderse ensamblada de fábrica, sino despiezada en formato *kit*.
- El proyecto debe incluir, por lo menos, una manual de montaje paso a paso de la impresora.
- El manual de montaje debe contener imágenes nítidas que acompañen la explicación escrita. A más a más, se precisa que incluya un listado del material básico para el ensamblaje de la impresora.
- La impresora escogida debe ser de sobremesa, pesar menos de 14 kilogramos y no puede exceder las siguientes dimensiones una vez montada: 600 x 600 x 600mm.
- El paquete debe incluir el software de laminación y la electrónica debe ser cerrada.
- Las mejoras propuestas deben ser coherentes y aplicables, aunque algunas de ellas no puedan llevarse a la práctica por motivos técnicos o económicos.
- Partiendo del anterior punto, el conjunto de las mejoras aplicadas no puede superar los 35 euros.

2. Estado del arte

Antes de embarcarnos en el desarrollo del proyecto, es preciso hacer referencia a las investigaciones previas relacionadas el tema de este trabajo. Aunque el mundo de la impresión 3D es relativamente nuevo, se han realizado cuantiosas aportaciones científico-técnicas tanto en aplicaciones prácticas (p. ej. medicina, automoción, arte) como en la creación de nuevos modelos de impresoras. Dado que el fin de este proyecto es construir una impresora 3D, desarrollar su manual práctico de montaje y aportar nuevas mejoras sobre el conjunto, se hará especial hincapié en el estudio de trabajos previos en la construcción de estas impresoras y mejoras propuestas.

El departamento de Resistencia de Materiales de la Escola Superior de Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT) ha propuesto en años anteriores proyectos de fin de grado bajo el mismo título. Aunque los modelos de impresora elegidos fueran distintos, las bases fueron las mismas. El manual práctico de usuario es único para cada tipo de impresora y, ya que se ha escogido el modelo Prusa i3 Steel de BoloBerry, las referencia que encontramos en guía de usuario es la propia aportada por dicha empresa.

Por otro lado, es de especial interés conocer qué ideas de mejora se propusieron, las líneas futuras y problemas hallados en otras investigaciones. Marc Alberó, exalumno de la ESEIAAT, propuso en su proyecto “Montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico”[1] las siguientes líneas de futuras:

- Diseño de una estructura más robusta para la impresora con el objetivo de reducir las vibraciones.
- Diseño de una cabina para un mejor aislamiento del viento y temperatura exterior durante el proceso de impresión.
- Aplicación de un segundo extrusor y los convenientes reajustes en la impresora.
- Contraste de mejoras por el uso de otro software de laminación.
- Adición de más ventiladores para optimizar la refrigeración de las capas de plástico impresas y estudio de las modificaciones pertinentes en la electrónica.

Entre las mejoras que ideó se encontraba un lubricador de filamento que permita una entrada limpia y fluida del material plástico al extrusor; el diseño de unas ruedas dentadas con tuerca de M3 para un mayor manejo de la altura de la cama caliente; y la corrección del sentido de giro del motor mediante la alteración del código del firmware.

3. Introducción a la impresión 3D

3.1. Apunte histórico – Primeros modelos

Los inicios de la impresión 3D se remontan a finales de los años 70 con la impresora de inyección de tinta. Aunque la tecnología de entonces difiere mucho de la actual debido al tamaño de las estructuras, sus limitaciones y su precio, la invención de la estereolitografía¹ supuso el inicio del concepto de impresión en tres dimensiones. Chuck Hull, creador de esta técnica en 1984 y posterior fundador de *3D Systems*, creó en 1988 la primera impresora 3D, la SLA-250. A él mismo también se le atribuye el formato CAD basado en el mallado de geometrías con triángulos cerrados: el STL.

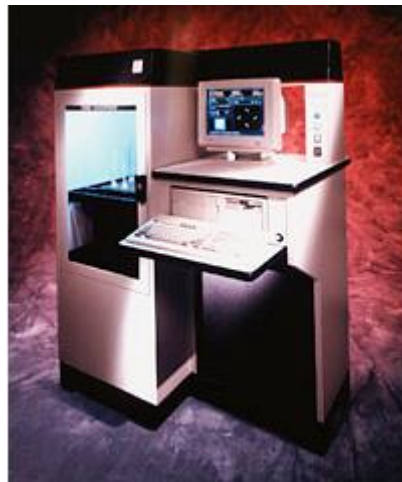


Ilustración 1: SLA-250 de 3D Systems basada en la técnica de estereolitografía. Fuente: 3DSystems

La estereolitografía fue concebida para la elaboración de prototipos únicos, sin comprender la elaboración de productos totalmente finalizados o para producción en serie. Todo esto ha cambiado gracias al enorme desarrollo que ha experimentado esta tecnología. Según diversos estudios [2], a mediados del 2012 alrededor del 28% del capital invertido en este tipo de impresión iba dirigido a la producción de bienes finales. Se llegó a predecir que, en el año 2020, este porcentaje podría llegar a alcanzar el 80%.

Casi a la par que Chuck Hull, la compañía *Stratasys*, fundada por Scott y Lisa Crump, idea el modelado por depósito fundente (FDM) en el año 1989 y produce sus primeras impresoras a finales de ese año. Este sería más adelante uno de los procesos más comunes en las impresoras personales lanzadas al mercado.

A partir de 1993, gracias al método 3DP creado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), se comienza a calificar las impresoras lanzadas al mercado bajo el nombre de *impresoras 3D*. Ciertamente, las siglas 3DP significan impresión en 3 dimensiones y se basaba en la impresión de pegamento protegido por una película de polvo en su base.

Tras la invención de la tecnología 3DP hasta 2007, los desarrollos producidos estuvieron prácticamente vinculados al sector industrial. Se fueron desarrollando nuevos modelos de

¹ Se entiende como estereolitografía a la primera tecnología de prototipado que emplea resina sensible a la luz y un rayo UV que la endurece de abajo hacia arriba.

impresoras enfocados al prototipado o pequeñas series e incluso se perfilaron nuevos procesos de impresión, pero la idea aún estaba demasiado “verde” para llevarla al terreno particular.

A partir de aquel entonces, la impresión 3D pasa a ser de competencia popular gracias a la iniciativa RepRap (Replication Rapid Prototyper). Puesta en marcha por el Dr. Adrian Bowyer, fue un proyecto para la creación de un modelo de impresora 3D (modelo Darwin, 2007) que pudiera crear por sí misma sus propios componentes estructurales. Esta iniciativa condujo poco a poco a la instauración de un soporte para la difusión de conocimiento en la materia. La impresora RepRap hizo uso de la tecnología de modelado por depósito fundente, FDM, ideada por Stratasys. Ya que el proyecto se desarrolló con licencias de código abierto, muchos grupos hallaron la posibilidad de distribuir nuevas impresoras 3D basadas en la RepRap al público particular y marcar un nuevo hito en este mundo.

3.2. Aplicaciones de la impresión 3D

Uno de las primeras ventajas que supuso la impresión 3D y por ello su afán por evolucionar su tecnología fue la reducción de costes y tiempo en la elaboración de prototipajes. Mientras que los procesos convencionales para la elaboración de prototipos requieren maquinaria específica y largos tiempos de espera, las impresoras 3D redujeron dichos tiempos a cuestión de horas. Debido a ello, cualquier cambio en el diseño de un producto puede ser sencillamente reimpresso sin ningún tipo de contrariedad.

Las aplicaciones de la impresión 3D quedan en gran parte sujetas al tipo de dispositivo utilizado. A mayor inversión, mejores resultados. De todos modos, el mundo profesional ya cuenta con modelos de elevada precisión y potencia. Eso ha facilitado enormemente la materialización de proyectos como los que se irán citando a continuación.

Uno de los mayores retos de las impresoras 3D es y será la creación de órganos y tejidos humanos mediante capas de células humanas. Técnicamente, el término utilizado por los expertos es *bioimpresión* [3]. El proceso teórico a seguir sería la elaboración de un molde flexible y poroso de hidrogel (polímero), que posteriormente sería rellenado de células de piel y, en caso de una oreja, de cartílago.



Ilustración 2: Impresión en 3D de una oreja por el WFIRM. Fuente: Walker Forest Institute Regenerative Medicine

También en el mundo médico, se ha llegado a replicar modelos en 3D de distintos órganos para un mejor entendimiento de la compleja anatomía del paciente y la simulación del proceso de intervención quirúrgica [4]. Muchas de las veces los modelos en 3D son sacados mediante ecocardiogramas en tres dimensiones, en el caso del corazón, y, aunque el material impreso no se asemeja al tejido real, se consiguen reproducciones suficientemente buenas para estudiar los defectos principales del sistema. Uno de los requisitos que se requieren es que la impresora sea capaz de imprimir materiales consistentes, elásticos y con capacidad de memoria. La tecnología polyjet y las resinas fotopoliméricas alcanzan esos resultados.



Ilustración 3: Modelos de corazón impresos en 3D para simulación quirúrgica. Fuente: 3D Printing in medicine (2016)

Aunque actualmente está en fase experimental y solamente se ha llevado a la práctica en algunos restaurantes de alta cocina, los platos impresos en 3D empiezan a ser una realidad. Uno de los ejemplos más escuchados es la impresión por FDM de filamentos de chocolate [5]. Ello ha permitido la elaboración de productos personalizados para el consumidor, aunque pone en duda la viabilidad de elaboración de grandes producciones de figuras de chocolate basados en esta técnica, así como su comercialización.



Ilustración 4: Corona de chocolate impresa en 3D. Fuente: Chocedge

Otras aplicaciones de la impresión 3D son las siguientes:

- Arte
- Joyería y bisutería
- Automoción y sector aeroespacial
- Diseño urbanístico y arquitectura
- Moldes

3.3. Técnicas de impresión

El término de impresión 3D no debe llevar a confusión pensando que existe un único método de impresión. Hasta el momento se han desarrollado múltiples técnicas y cada una surgió debido a un motivo específico. No todos los materiales pueden ser impresos del mismo modo, como tampoco puede emplearse la misma técnica para alcanzar distintos tipos de acabado o precisión. Sin embargo, hay un punto común en todas ellas: funcionan por adición de material por capas.

En este apartado se presentarán las técnicas de impresión 3D más comunes, dividiendo en tres grupos dependiendo del método básico que emplee cada técnica. Esta clasificación está basada en la realizada por *La impresión 3D* [6].

3.3.1. Impresión por depósito de filamento fundido

El depósito de filamento fundido, también conocido por **FDM**, fue una de las primeras tecnologías de impresión creadas tras la estereolitografía. Esta difiere de las que se presentarán más adelante ya que la deposición por capas del material se debe a un proceso de extrusión mediante fundición del filamento. La precisión de la impresión depende en mayor grado del dispositivo utilizado, aun así el FDM es una técnica principalmente utilizada en impresoras personales.

Anteriormente, se mencionó que el emprendedor de esta tecnología fue la empresa Strasys, fundada a finales de los años 80. Estos mismos decidieron registrar esta técnica, por lo que muchas casas de impresoras 3D tuvieron que denominar de otro sus técnicas por mucho que se basasen en esa misma.

El proceso FDM es relativamente sencillo. El componente principal es una boquilla de extrusión calentada a una determinada temperatura, dependiendo del material a depositar. En la mayoría de los casos el material se introduce en forma de filamento en la extrusora. Ésta se encarga de fundirlo e irlo depositando sobre un lecho caliente (plataforma). Se van creando capas superpuestas de material (aprox. 0.004 mm de espesor) que se enfrían poco a poco con el paso del tiempo.

Con el uso de dos extrusores, pueden elaborarse piezas más complejas, de diversos colores o estructuras de soporte. La siguiente imagen representa un esquema simplificado de un sistema FDM con doble extrusor.

EXTRUSIÓN DE MATERIAL FUSED DEPOSITION MODELING - FDM Doble cabezal

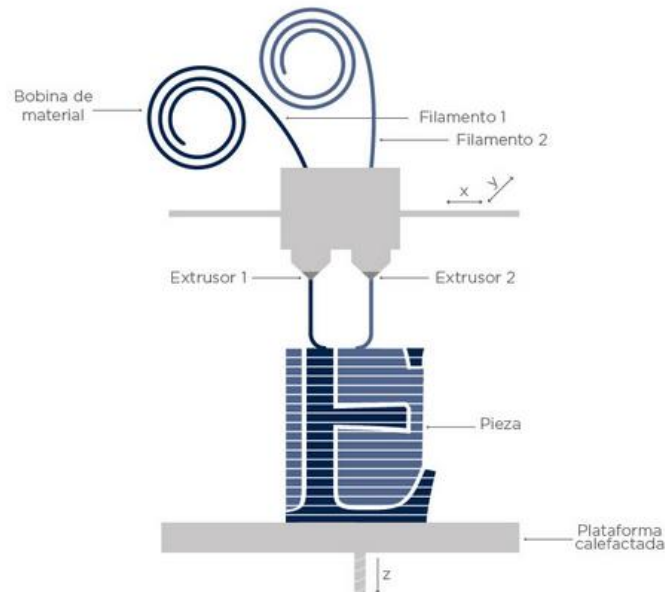


Ilustración 5: Esquema FDM con doble extrusor. Fuente: EDDM

3.3.2. Impresión por fotopolimerización

El proceso de fotopolimerización es completamente distinto al FDM. En este caso, en vez de trabajar con filamentos de plástico, se dispone de polímeros líquidos que reaccionan con los haces de luz y solidifican. Las dos técnicas más empleadas son las siguientes:

- **Estereolitografía (SLA)**

La estereolitografía fue la primera tecnología que introdujo el concepto de impresión 3D a manos de la empresa 3D Systems en 1986. Utiliza fotopolímeros² en estado líquido que al estar en contacto con luz ultravioleta (láser) solidifican. La deposición, como en todos los procesos, es en capas sobre una plataforma. Los elementos básicos de este tipo de impresoras son: plataforma móvil, PC, láser UV, depósito para el fotopolímero y plataforma móvil dentro del anterior depósito.

Los acabados conseguidos mediante esta técnica son muy superiores al FDM, como también el nivel de detalle y precisión. De todos modos, debido a su elevado coste, apenas se aplica en el ámbito particular o doméstico.

El proceso de impresión empieza con el laminado del archivo CAD. Gracias a ello, el láser perfila la primera capa cuando éste entra en contacto con los fotopolímeros del

² Fotopolímeros: son un tipo específico de polímeros sintéticos que cambian de propiedades al ser expuestos con luz.

depósito. La siguiente lámina se crea de mismo modo, bajando previamente la plataforma móvil mínimamente.

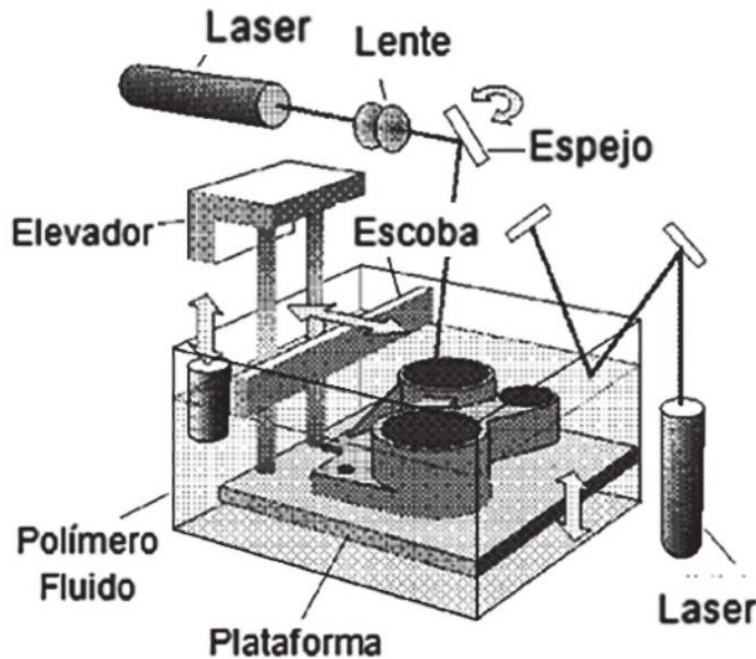


Ilustración 6: Esquema del proceso por estereolitografía. Fuente: ResearchGate

- **PolyJet**

Años más tarde de la invención de la estereolitografía, Objet desarrolló la técnica PolyJet. Basada también en el proceso de fotopolimerización, en este caso los fotopolímeros son inyectados sobre una plataforma y posteriormente tratados con luz ultravioleta. Cada proyección de láser se realiza tras depositar cada capa.

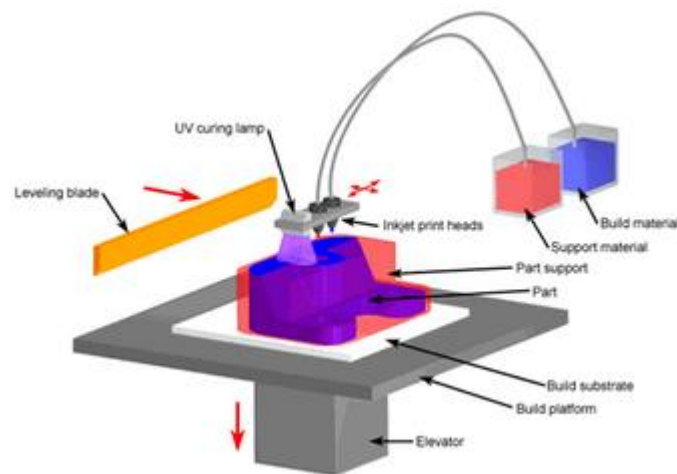


Ilustración 7: Esquema del proceso por PolyJet. Fuente: 3DVisualPrototipos

3.3.3. Impresión por fusión de lechos de polvo

La impresión por lecho de polvo permite que materiales como el metal, que raramente pueden ser impresos directamente en estado sólido (muy difícil de fundir) o estado líquido (difícil de mantenerlos en ese estado), sean mecanizados en 3D. De todos modos, las técnicas basadas en el polvo presentadas a continuación pueden emplear muchos tipos de materiales, desde metales hasta cerámicos, hecho no posible en FDM, por ejemplo.

- **Electron Beam Melting (EBM)**

El EBM es una de las técnicas óptimas para la elaboración de piezas metálicas formadas a base de polvo metálico. Dicho polvo debe ser fundido con un láser a elevada temperatura. Antes de fundirse, el polvo se inyecta en una cámara de vacío. La energía que irradia el láser sobre el metal provoca que este se funda y acto seguido se homogenice con las moléculas contiguas. Las capas de material fundido se depositan en una plataforma con la forma marcada por el haz de electrones y se enfrían instantes más tarde.



Ilustración 8: Modelo de impresora de la empresa Arcam de tipo EBM. Fuente: Arcam

- **3DP**

Es la única tecnología que permite la impresión simultánea de miles de colores mediante colas teñidas. Fue ideada el Instituto de Tecnología de Massachusetts y posteriormente comprada por la empresa de Chuck Hill, 3D Systems.

El 3DP permite realizar objetos con casi todo tipo de materiales y geometrías complejas. En cada descenso de la plataforma base, la impresora primero esparce un polvo muy fino y acto seguido deposita pequeñas gotas de cola que apelmazan el polvo. El proceso se repite tantas veces como capas laminadas haya. Una vez finalizado, debe sehacerse del polvo restante.

- **Selective Laser Sintering (SLS)**

El SLS busca asociar partículas de polvo mediante su fusión gracias a un potente haz láser. El proceso de impresión es sencillo. Sobre una plataforma precalentada, se dispone una fina capa de polvo (plástico, metal, cerámico, orgánico). A continuación, el láser, siguiendo el modelo CAD previamente laminado, dibuja sobre la plataforma la primera lámina de la figura. El polvo se funde y las partículas se asocian. Se sigue este proceso hasta que la pieza queda totalmente impresa. Durante el proceso, las capas se van enfriando paulatinamente.

El polvo que se rocía y finalmente no se emplea puede ser posteriormente utilizado en otras impresiones. Esto hace del SLS un proceso económico. Generalmente, el selective laser sintering produce acabados bastante rugosos.

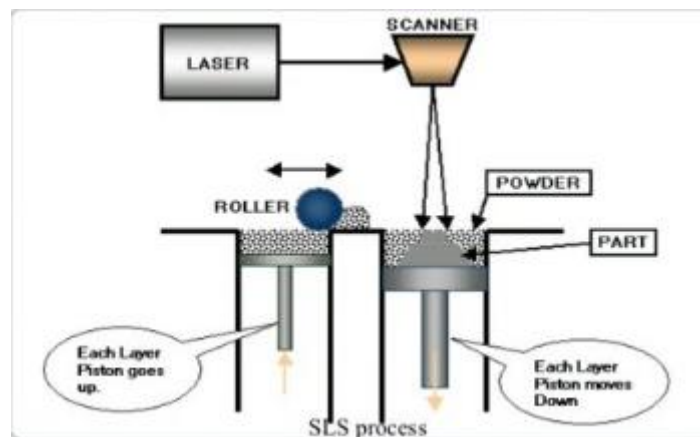


Ilustración 9: Esquema del proceso por SLS. Fuente: Replicant 3D

3.4. Materiales para impresión

Los avances en la impresión 3D han traído consigo nuevos materiales con los que imprimir. Aunque la compatibilidad entre una técnica de impresión, el modelo de impresora y el material escogido no es siempre posible, la variedad de materiales imprimibles sigue siendo envidiosa. En el ámbito personal y debido a las limitaciones que tienen las impresoras domésticas, el componente principal usado es el plástico; especialmente el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y el PLA (poliácido láctico). La gran mayoría de los materiales se disponen en forma de filamento en el caso de los métodos basados en FDM. En el caso de la estereolitografía en resina líquida de fotopolímero. Mientras que el sinterizado láser trabaja básicamente con resinas termoplásticas³.

Los materiales se pueden llegar a dividir en cuatro grupos principales: plásticos, cerámicos, metales y orgánicos.

Uno de los motivos principales por el cual el plástico (polímeros sintéticos) tiene mayor aplicación es debido a su gran capacidad de plasticidad para ser moldeado en infinidad de formas. Además de su bajo coste de producción, reducida densidad y sus capacidades aislantes (térmica y eléctrica). De todos modos, cabe especificar que los termoplásticos tienen mayor aplicación que los termoestables ya que estos tienen mayor capacidad de deformación plástica.

³ *Termoplásticos*: material plástico que expuesto a temperaturas elevadas se deforma. Al enfriarlo, en el estado de transición vítrea, se endurece. A diferencia de los termoestables, no se queman al aumentar de temperatura. Hecho que permite moldearlos más de una vez.



El Anexo 3 introduce los materiales más relevantes de los plásticos y metales y las técnicas de impresión compatibles con ellos.

4. Selección de un kit de impresora 3D

El objeto principal del proyecto es construir una impresora 3D y desarrollar un manual de montaje de ésta. El siguiente apartado establecerá en primer lugar los criterios fijados por el autor para la elección del kit de impresora a montar. Seguidamente, se expondrán un seguido de modelos de impresora, tanto kits como ya ensamblados, haciendo especial hincapié en las características que más relevantes según los criterios anteriores. Y, por último, tomando un reducido grupo de kits “finalistas”, se decidirá el modelo a adquirir.

4.1. Criterios de elección

Los criterios que podrían fijarse pueden ser innumerables y, tras un arduo proceso, hallar el modelo óptimo con los requisitos establecidos. Desafortunadamente, a mayor número de exigencias, mayor cantidad de variables. Eso repercute asimismo en el hecho que realmente exista un modelo que cumpla todos los criterios.

En este caso, se dará menor trascendencia a las características técnicas propias de la impresora, mientras que puntos como el precio, servicio técnico o facilidad de montaje tomarán mayor importancia. En cualquier caso, la técnica de impresión debe ser **obligatoriamente por depósito de filamento fundido (FDM)**.

Sin más dilación, los criterios esenciales son:

i. *Impresora ensamblada o en formato kit*

Es un punto prescindible. Cualquier kit de impresora precisa de montaje en mayor o menor grado.

ii. *Precio*

Los kits de impresora tienden a comprender un rango de precios que oscila entre los 150 y los 900€, aproximadamente.

iii. *Sistemas de posicionamiento FDM: Coordenadas cartesianas, coordenadas polares, tipo Delta.*

Bajo criterio personal y debido a la cantidad de información y repuestos disponibles, los sistemas de tipo cartesiano tendrán mejor valoración.

iv. *Tamaño máximo de impresión – tamaño bandeja*

Se toma como promedio o estándar un volumen de impresión de 200x200x200mm para impresoras de este segmento.

v. *Abanico de materiales imprimibles*

El requisito mínimo consiste en imprimir ABS y PLA. Un mayor abanico de materiales plásticos imprimibles (p.e. Filaflex, Nilon, PVA, HIPS) y otros materiales (p.e. madera, cerámica, madera, carbono, cobre) garantiza mejor valoración.

vi. *Servicio técnico postventa*

El fácil acceso al servicio postventa y técnico del producto es un gran punto a tener en cuenta. Se valora positivamente centros de atención al cliente físicos o, en su defecto, on-line.

vii. *Calidad de impresión – grosor de capa*

No es un criterio crítico. Los kits de impresora estándar, especialmente aquellos basados en el proyecto RepRap o la Prusa i3, garantizan una resolución, espesor de capa y precisión de ejes similar.

viii. *Material del marco*

Tanto el material del chasis de la estructura como el grosor del marco juegan un papel importante para evitar vibraciones y ofrecer una mayor consistencia. El acero es preferible, a diferencia de las estructuras de acrílico.

ix. *Comunicación PC – Impresora (exportación para impresión)*

Debe evitarse que el único medio para imprimir cualquier pieza sea mediante la conexión directa entre PC e impresora por cable USB. Esto ofrece muy poco margen de error, puesto que, en caso de apagado del ordenador, el proceso quedaría interrumpido. Los métodos más comunes son mediante: tarjeta SD (o microSD), cable USB o Wi-Fi. Este último destaca porque permite enviar el archivo y orden de impresión sin estar cerca de la impresora.

x. *Hardware: microcontrolador y shield*

El punto básico es un microcontrolador robusto con un *shield* que permita controlar los elementos de potencia (pololus, conector termistor, conector hotend, etc) sin comprometer el primero. Tanto las placas propias desarrolladas por primeras marcas (p.e. Zum Mega 3D de BQ o Printrboard de Printrbot) como Arduino Mega 2560 con Ramps 1.4 son soluciones favorables.

xi. *Interfaz de usuario*

Refiriéndose a la impresora. En la mayoría de los casos mediante una pantalla LCD o similares. La interfaz de usuario debe ser intuitiva y sencilla, a la vez que ofrezca todos los controles básicos de la impresora, sin emplear el ordenador.

xii. *Dificultad de montaje*

La dificultad de montaje viene definida en primer lugar por el modelo de impresora. Aquellas basadas en la Prusa i3, una de las impresoras más recreadas hasta el momento, darán menores problemas debido a la gran cantidad de información al alcance. Por otro

lado, la cercanía con el proveedor o desarrollador del modelo también es un factor a tener en cuenta.

En el apartado 4.3. a cada criterio se le asignará un peso (de 0 a 5) según su relevancia en el proceso de selección.

4.2. Modelos de impresoras 3D personales más populares

Bajo estas líneas se expondrán los modelos de kits de impresora 3D más populares del mercado y fáciles de adquirir. Con tal de que las calificaciones ofrecidas en cada criterio sean fundadas, cada punto comentará las características básicas del modelo.

A más a más, aunque no formarán parte del proceso de selección del apartado que sucede, se citarán algunas de las impresoras más destacables en la actualidad.

Guía de los kits más populares.

- **Anet A8**

El fabricante Anet es un productor chino de impresoras 3D con 4 años de experiencia. Diseña principalmente impresoras de FDM tanto ensambladas como tipo DIY (Do It Yourself), mas también tiene un par de modelos basados en el SLA. Los ejemplares A8, A7 y A6 parten todos de la Prusa i3.

La impresora Anet A8 destaca, sin duda alguna, por su reducido coste (aprox. 200€). Es fácilmente modificable y acepta mejoras gracias al concepto OpenSource tanto en software como en hardware. El volumen de impresión es relativamente grande (220x220x240mm) e incluye cama caliente. Es capaz de imprimir un elevado número de filamentos plásticos: ABS, PLA, HIPS, entre otros.

Algunos de los aspectos negativos de Anet A8 [7] son la dificultad de montaje por falta de instrucciones claras, la interfaz poco intuitiva y la calibración manual. Muy posiblemente su bajo coste se deba, entre otros factores, a que la estructura no es metálica sino acrílica. Ello puede hacerla susceptible a vibraciones y mermar su calidad de impresión.

Una circunstancia que debe plantearse antes de decidirse a comprarla es el servicio postventa. Al tratarse de una empresa China, reparar el dispositivo puede ser más engorrosa que en otros casos.

Detalles técnicos ANET 8	
Volumen de impresión	220x220x240mm
Dimensiones impresora	500x400x450mm
Electrónica	Cerrada (Ramps 1.4 y Arduino Mega)
Resolución eje Z	0,04mm
Resolución de impresión	±0,1 - 0,2mm
Velocidad de movimiento MAX.	120mm/s
Segundo extrusor incluido	No

Cama caliente	Sí
Pantalla LCD	Sí (Inglés)
Materiales imprimibles	ABS, PLA, HIPS, etc.
Conexión PC - impresora	SD y cable USB
Estructura / Marco	Acrílico
Diámetro filamento	1,75mm
Precio	225 €
Otros	Pantalla LCD con 5 botones; Grosor de capa 0,1-0,4mm;

Tabla 1: Especificaciones técnicas Anet A8

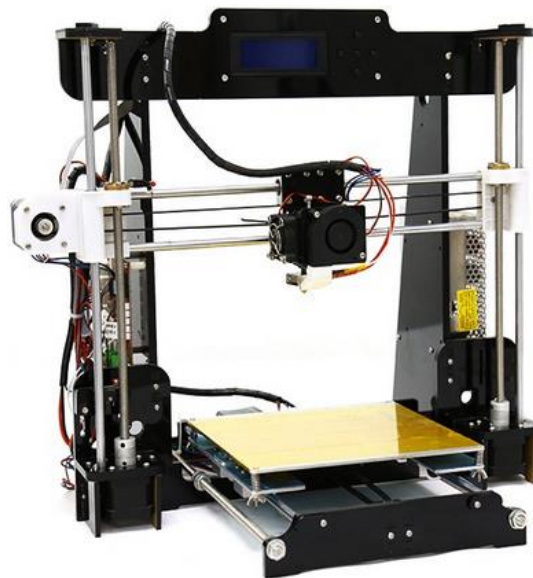


Ilustración 10: Impresora Anet 8. Fuente: anet3d.com

- **Prusa P3 Steel PRO (Boloberry)**

El modelo Prusa P3 Steel PRO desarrollado por el fabricante Boloberry es una de las muchas recreaciones de impresora basadas en el proyecto original de Prusa i3 de Joseph Prusa. Se ha escogido este modelo entre otros, como la Dagoma Disco Ultimate [8], porque es una empresa catalana con sede en Barcelona dedicada al diseño de impresoras tridimensionales. De este modo, el servicio postventa es cercano, rápido y fiable.

Una de las mayores ventajas de la impresora es que emplea componentes fácilmente adquiribles por internet u otros medios a parte de la tienda física. Estos son comúnmente utilizados en muchas otras impresoras de la misma gama, como por ejemplo la placa Arduino Mega (+ Ramps 1.4), motores Nema 17 o los Stepper Drivers DRV8825. Asimismo, como la electrónica y el software son libres, admiten cualquier tipo de modificación y mejora.

La estructura esta hecha a base de acero (3mm grosor), lo que la convierte en una impresora robusta y estable en los tres ejes, aún comprometiendo su peso. Las piezas que se montan sobre los ejes X y Z son impresas en 3D. Este último punto tiene a favor que, en caso de rotura o desgaste, se pueden intercambiar fácilmente, pero acarrear pequeños errores de diseño o poca resistencia.

El kit incluye de fábrica cama caliente y pantalla LCD con lector de tarjetas SD. Aunque su volumen de impresión es más reducido que las otras impresoras presentadas en esta sección, el extrusor MK8 de extrusión directa, que no viene ensamblado, trabaja con infinidad de materiales.

La impresora no necesita estar conectada al ordenador durante el proceso de impresión.

Detalles técnicos PRUSA P3 STEEL PRO	
Volumen de impresión	200x200x200mm
Dimensiones impresora	450x430x450mm
Electrónica	Cerrada (Ramps 1.4 y Arduino Mega)
Resolución eje Z	0,06mm
Resolución de impresión	±0,1 - 0,2mm
Velocidad de movimiento MAX.	200mm/s
Segundo extrusor incluido	No (se vende aparte)
Cama caliente	Sí (con relee de protección)
Pantalla LCD	Sí (Español) con lector de tarjetas
Materiales imprimibles	PLA, ABS, Filaflex, Nylon, Carbon, Madera, etc.
Conexión PC - impresora	SD y cable USB
Estructura / Marco	Acero (3mm espesor)
Diámetro filamento	1,75mm
Precio	453 €
Otros	Compatibles con ventilador de capa, sensor de autonivelado y de filamento; Incluye manual de usuario y laminador

Tabla 2: Especificaciones técnicas PRUSA P3 Steel Pro

- **BQ Hephestos 2**

BQ es un fabricante español de tecnología móvil e impresión 3D. Su modelo Hephestos 2 se cataloga como la segunda versión de las impresoras tipo kit que fabrica basadas en la Prusa i3. Apuesta por un diseño más estilizado y con mayor volumen de impresión que otras impresoras por debajo de los 1000 euros. Trabaja con firmware derivado de Marlin, totalmente abierto.

Uno de los puntos más relevantes de la impresora Hephestos 2 es que no emplea piezas de plástico impresas como muchos otros modelos basados en la idea RepRap. De hecho, para ofrecer mayor estabilidad, han sido sustituidas por piezas de aluminio. Aunque no dispone de cama caliente, BQ vende la vende por separado.

Tanto el extrusor como la placa base (Zum Mega 3D) son de diseño propio y totalmente libres. Aunque no trabaja con Arduino Mega y Ramps 1.4, la profesionalidad de BQ en el sector garantiza óptimos resultados con la Zum Mega 3D.

Su elevado precio, aún partiendo del modelo Prusa i3, es debido a la calidad de los componentes que emplea, mayoritariamente desarrollados por BQ. A más a más, incluye un sensor inductivo que mide la distancia entre el extrusor y la cama caliente. Esta característica permite una nivelación manual casi perfecta, además de la opción de autonivelado. El hecho de tratarse de una empresa española que fabrica en el país avala un fácil acceso a piezas de recambio, servicio técnico y cercanía.

Detalles técnicos BQ HEPHESTOS 2	
Volumen de impresión	210x297x220mm
Dimensiones de la impresora	450x516x571mm
Electrónica	Cerrada (Zum Mega 3D)
Resolución eje Z	-
Resolución de impresión	0,05mm
Velocidad de movimiento MAX.	200mm/s
Segundo extrusor incluido	No
Cama caliente	No (se vende aparte)
Pantalla LCD	Sí
Materiales imprimibles	ABS, PLA, Filaflex, Cobre, Bronce, Madera
Conexión PC - impresora	SD y cable micro USB tipo B
Estructura / Marco	Aluminio
Diámetro filamento	1,75mm
Precio	850 €
Otros	Cadenas portacables; sensor inductivo para nivelación de cama; espátula y guantes incluidos; Caja protectora electrónica

Tabla 3: Especificaciones técnicas BQ Hephestos 2



Ilustración 11: BQ Hephestos 2. Fuente: bq.com

- **Ender 3 de Creality**

La impresora Ender 3 pertenece a la empresa china Shenzhen Creality 3D Technology Co., fundada a mediados del año 2014. Ésta se especializa en la producción y venta de impresoras 3D, principalmente, tanto a nivel particular como para empresas. A diferencia de muchas otras empresas y asemejándose a otros productores de impresora chinos, la tecnología que desarrollan es totalmente de su propiedad intelectual.

En el caso de la Ender 3, es un ejemplar de uso particular de sobremesa de fácil ensamblaje y diseño compacto, ya que viene parcialmente ensamblado. Pertenece a Ender Series y una de sus características principales es su relación bajo coste – calidad de impresión. Como la gran mayoría de impresoras de la gama, es una impresora totalmente de código abierto y con un volumen de impresión estándar (220x220x250mm).

Una de los factores positivos que tiene la Ender 3 de Creality es que no tiene ninguna pieza ensamblada impresa en plástico, todas ellas de aluminio. Esto le garantiza mayor resistencia a ruptura y estabilidad, aunque dificulta una rápida sustitución en caso de desgaste.

Desafortunadamente, la estructura de aluminio puede quedar comprometida por el diseño tipo “pórtico” de la misma. La base desigual y la falta de estabilidad en el eje Y en la parte superior permiten que la impresora bambolee ligeramente durante la impresión [9].

Hay un notable número de distribuidores de los dispositivos de Creality en las capitales de España. Especialmente, para los modelos Ender 3 y CR-10. De tal modo, el servicio técnico de postventa es más cercano y evita contactar con el centro de producción en China.

Detalles técnicos ENDER 3	
Volumen de impresión	220x220x250mm
Dimensiones de la impresora	440x410x465mm
Electrónica	Open (Placa base propia)
Resolución eje Z	-
Resolución de impresión	0,1mm
Velocidad de movimiento MAX.	180mm/s
Segundo extrusor incluido	No
Cama caliente	Sí
Pantalla LCD	Sí (Inglés)
Materiales imprimibles	ABS, PLA, TPU, Madera, FilaFlex, Fibra de Carbono, PA, etc.
Conexión PC - impresora	SD y cable USB
Estructura / Marco	Aluminio
Diámetro filamento	1,75mm
Precio	275 €
Otros	Nivelación de cama manual; continuación de la impresión tras un corte/fallo en la alimentación; conducto de filamento estrecho para mejor impresión de materiales flexibles

Tabla 4: Especificaciones técnicas Ender 3



Ilustración 12: Ender 3 de Creality. Fuente: es.creality3donline

4.3. Selección del kit de impresora

Aunque no se mencionó con antelación, cualquier kit de impresora basado en la popularmente conocida RepRap Prusa i3 garantiza mayor grado de seguridad y conocimiento. Los modelos de Prusa reúnen actualmente el mayor número de grupos de ayuda, información en línea y disponibilidad de piezas compatibles de sustitución.

Se empleará el método de los **factores ponderados** para seleccionar el kit de impresora a montar en este proyecto. A cada factor o criterio expuesto en el apartado 4.1 se le asigna un peso relativo (en tanto por uno) según su importancia. Es un criterio establecido por el autor. Se entiende que otros usuarios puedan optar por pesos o factores totalmente distintos. Para cada uno de los factores listados se asigna una puntuación, de 0 a 5. De este modo, cada modelo de impresora tendrá una valoración en cada punto anterior.

La puntuación total vendrá determinada como la suma de los productos entre un factor y su correspondiente valoración. En caso de empate entre dos o más kits de impresora, ganará aquella que disponga de mejor valoración en los criterios con mayor peso relativo (p.e. servicio postventa, precio o material del marco).

Véase ANEXO 4 – *Tabla de ponderación de los kits de impresora*.

El kit de impresora escogido es finalmente la **Prusa P3 Steel Pro** de Boloberry.

Véase el manual de montaje de la Prusa P3 Steel Pro en el ANEXO 5.

5. La impresora 3D por FDM: componentes y software

Hasta el momento se ha presentado una breve introducción de la impresión en tres dimensiones que puede ser completada con más literatura si se consulta la bibliografía de este proyecto. En cambio, ahora, es preciso adentrarse con mayor detalle en el dispositivo y cómo éste se estructura. El objetivo de esta sección es ofrecer una base sólida del funcionamiento de una impresora 3D y así omitir repetidas referencias y comentarios en el manual de montaje.

Aunque, como bien se dijo en apartados anteriores, existe todo tipo de impresoras 3D; desde kits a modelos ensamblados, pasando por ejemplares que van desde los 150 hasta los miles de euros; los componentes básicos son los mismos en todos ellas. En cualquier caso, debido al tipo de kit de impresora escogido para este proyecto, se estudiarán los elementos que conforman las impresoras por deposición de filamento fundido (FDM).

En primer lugar, se explicarán los elementos indispensables de los kits de impresora, tanto mecánicos como electrónicos. Acto seguido, se describirá todo el software informático requerido (software de diseño, firmware, laminadores, controladores de impresora). En la mayoría de los casos, las empresas facilitan al usuario modelos con software cerrado. Esto quiere decir que el firmware no se editó para que fuese reprogramado según la necesidad. Ello ofrece al comprador menor libertad de acción en caso de querer realizar modificaciones en su dispositivo, pero mayor simplicidad en el proceso de impresión. En los kits más económicos o de uso doméstico, gracias a la iniciativa RepRap, se dispone de código abierto.

En tercer lugar, se citarán un seguido de advertencias de seguridad y uso comunes en la mayoría de los kits de impresora por FDM. Y, por último, pero no menos importante, se explicarán todos los puntos necesarios a realizar o tener presente cuando la impresora no está en funcionamiento. En este último caso, se tomará como referencia el kit de impresora seleccionado para este proyecto: Prusa P3 Steel Pro de Boloberry.

5.1. Componentes básicos de un kit de impresora

En cualquier situación, es de gran importancia conocer los elementos que componen un mecanismo, en este caso algo más complejo: una impresora 3D por FDM. El mero hecho de estudiarlos y entender el funcionamiento de antemano puede beneficiar al usuario en los siguientes puntos:

- Capacidad de hallar posibles mejoras para la impresora inspeccionando el error de funcionamiento o diseño de un componente específico.
- Montar el dispositivo entendiendo plenamente cada uno de los pasos que se realiza y evitar equivocaciones innecesarias.
- Disponer del criterio suficiente para que en casos de fallo mecánico o eléctrico se pueda cambiar el componente por uno homólogo.

El material que se expondrá a continuación representa los componentes indispensables para cualquier kit de impresora FDM. Debe suponerse que en la mayoría de los ejemplares hay

elementos únicos o propios de cada uno y por eso la mayoría de las referencias serán sobre la Prusa P3 Steel Pro.

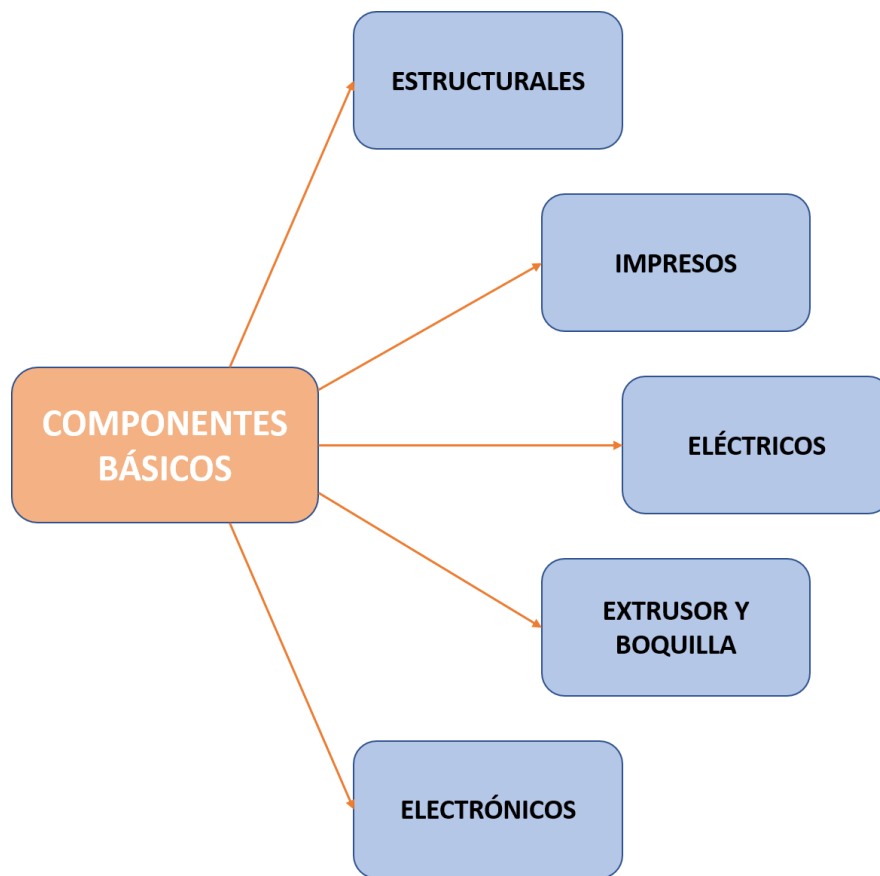


Ilustración 13: Esquema de los grupos de componentes básicos de cualquier kit de impresora 3D.

5.1.1. Piezas estructurales – mecánicas

Todos los constituyentes de una impresora 3D, en este caso un kit, deben ir montados sobre una estructura que, en primer lugar, ofrezca consistencia al conjunto. Con el término *consistencia* nos referimos a resistir notablemente a movimientos longitudinales en los tres ejes del espacio durante el proceso de impresión.

La mayoría de los kits de impresora de ejes cartesianos tienen una estructura de tipo *pórtico*. Raramente se encontrarán ejemplares de estructura *cerrada* que permitan la insonorización y aislamiento térmico. Para el primer tipo de estructuras, el plano vertical (XZ) comprende los elementos de impresión FDM: boquilla, extrusor, chasis vertical y ejes Z y X. El plano horizontal (XY), paralelo a la mesa de trabajo, dispone de la cama caliente, chasis horizontal y el eje Y.

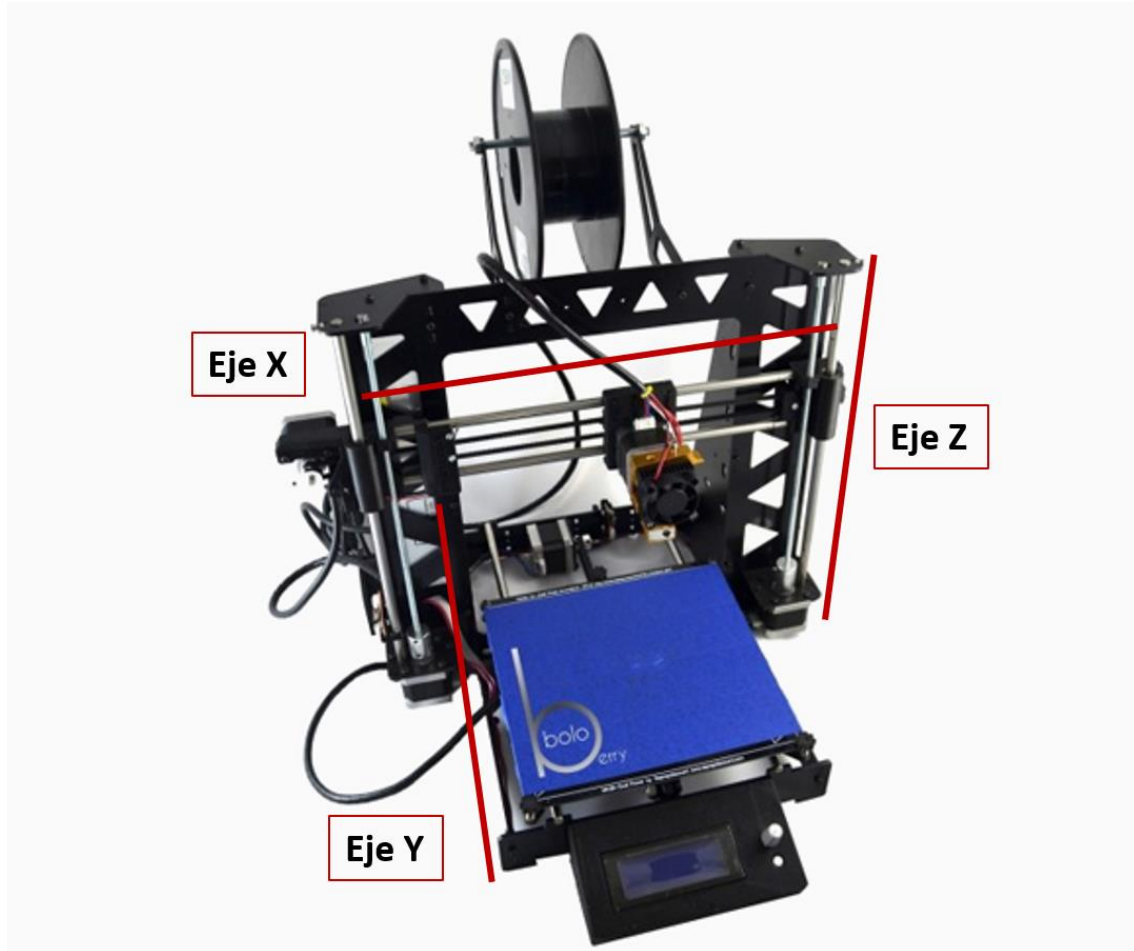


Ilustración 14: kit Prusa i3 Steel Pro de Boloberry con marco tipo pórtico de aluminio. Fuente: Boloberry

Elementos estructurales básicos:

- Marco o chasis
- Cama caliente
- Varillas lisas y usillos (eje z)
- Acoples para eje Z
- Correas para los ejes X e Y
- Rodamientos y ruedas dentadas acopladas en el sistema motor – correa
- Tuercas, tornillos y arandelas
- Cables corrugados y portacables
- Portafileamento

5.1.2. Piezas impresas

En apartados anteriores se comentó que el proyecto RepRap, fundado por el Dr. Adrian Bowyer, tuvo como fin poner al alcance del usuario particular la impresión 3D. Uno de los pilares clave que introdujo fue la idea de que las impresoras 3D imprimiesen algunas de sus propias piezas. Todo se basó en el concepto de autoréplica en aplicado al proyecto de la RepRap Darwin [10]. Lógicamente y por el alcance de las impresoras de escritorio, únicamente algunas piezas estructurales fueron pensadas para tal fin.

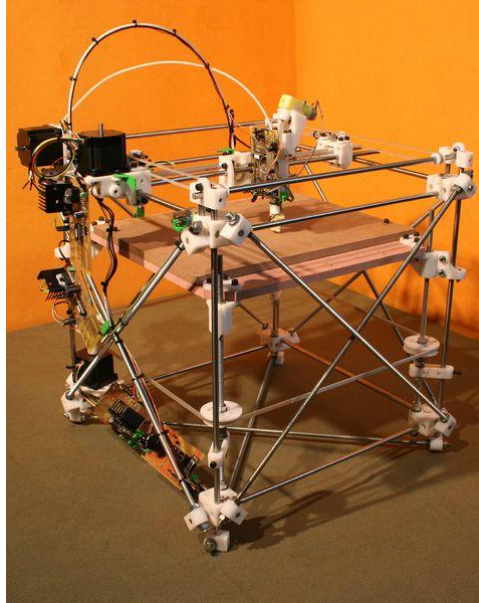


Ilustración 15: RepRap 1.0 Darwin. Fuente: RepRap.org/wiki

A día de hoy, algunos kits incluyen componentes impresos por FDM, como esquineras, soportes para los endstop, ruedas dentadas o encajes para las varillas de los distintos ejes. Del mismo modo, fabricantes y aficionados comparten o venden en la red componentes impresos para los modelos más comunes, como la Prusa i3 y sus variantes. Una de las ventajas de este tipo de elementos es que pueden fácilmente sustituir a otros dañados con función poco relevante.

Debe tenerse en cuenta que las piezas impresas en plástico no tienen buenas propiedades estructurales comparadas con materiales metálicos como el aluminio. Una impresora con excesivos componentes plásticos en su estructura puede ser más propenso a vibraciones y por ende una calidad más baja.



Ilustración 16: Kit de piezas estructurales impresas en 3D para impresora. Fuente: iFusionShop

5.1.3. Partes eléctricas

Los componentes eléctricos indispensables son:

- **Motores eléctricos:** comúnmente se emplean los motores paso a paso tipo Nema 17. Son cinco, distinguiéndose del siguiente modo. Dos de ellos para el movimiento de la varilla roscada del eje Z. Dos para el desplazamiento de las correas dentadas de los ejes X e Y. Y un motor de menor tamaño para el conjunto del extrusor. Los pasos que generan los motores quedan marcados por los pololus.
- **Fuente de alimentación:** proporciona el voltaje necesario para alimentar la placa base y el resto de elementos. Se suele trabajar con 12V constantes.
- **Cama caliente:** no es un elemento imprescindible de la impresora, pero sí altamente recomendable para la impresión de ciertos materiales (p.e. ABS). Se sitúa sobre el soporte del eje Y y por debajo de la base de impresión. Su principal cometido es evitar la contracción del plástico en las primeras capas de la pieza. La cama caliente dispone de un termistor para controlar la temperatura de ésta.
- **Finales de carrera:** uno para cada eje. Un total de tres interruptores que marcan las posiciones límite a la que puede llegar cada eje. También marcan la posición de *home* de cada eje.
- **Cableado:** conecta tanto la fuente de alimentación con los Ramps como estos últimos con el resto de componentes eléctricos de la impresora (motores, endstops, hotend, cama caliente).

5.1.4. Extrusor y boquilla

En la gran mayoría de los kits, el conjunto del extrusor (incluyendo su motor) quedan acoplados en el eje X, como es el caso de los modelos basados en la Prusa i3. En ciertos casos, el conjunto viene previamente ensamblado de fábrica bien para simplificar el montaje al usuario, bien porque el fabricante lo compra directamente a un proveedor.

La función básica de cualquier extrusor es traccionar el filamento de la bobina para introducirlo en la boquilla o hotend mientras se funde. De este modo, el filamento pasa de tener un diámetro mayor a uno más reducido una vez sale por la boquilla por la presión ejercida por el *motor-rueda dentada*. El modo en que se extruye, la retracción y presión que se ejerce responde al archivo G.Code instalado en la placa base.

Se distinguen dos tipos de extrusores comúnmente empleados según el tipo de accionamiento:

a) *Accionamiento Directo*

Los extrusores directos son el tipo más común en la mayoría de impresoras por FDM, especialmente en los kits DIY. Conforman un conjunto compacto donde el filamento avanza directamente desde la rueda dentada del extrusor hasta el hotend, sin pasos intermedios.

Un conjunto compacto conlleva más masa, por lo que el eje X queda más cargado. La inercia del eje aumenta y la precisión de impresión se ve reducida.

Sin embargo, hay menos posibilidad de sufrir averías o atascos cuando se emplean plásticos flexibles por la poca separación entre el extrusor y el hotend.

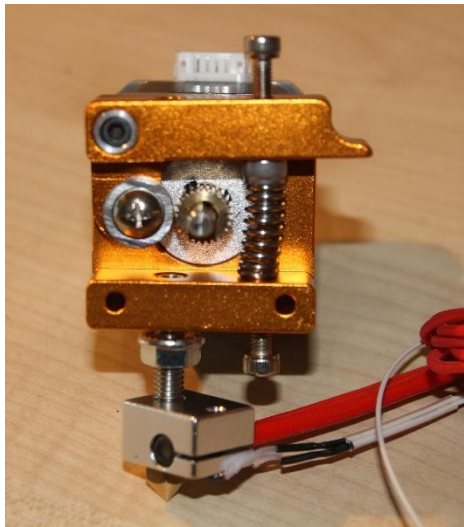


Ilustración 17: Extrusor de accionamiento directo. Fuente: propia

b) Accionamiento Bowden

Los accionamientos Bowden, aunque no difieren tanto de los anteriores, son de tipo indirecto. Dicho de otro modo, el motor y los engranajes del extrusor traccionan el filamento entrante haciéndolo pasar por un tubo de PTFE (teflón) de determinada longitud. El extremo opuesto conecta con la boquilla ubicada en el eje X.

Una de las mayores ventajas de este tipo de accionamiento es que se reduce el peso, y por ende la inercia, del eje X. Esto facilita el movimiento de los ejes Z y X y aumenta la calidad de impresión. Contrariamente, es más propenso a sufrir atascos o solidificaciones de plástico a lo largo del tubo de PTFE, especialmente en materiales flexibles como el Filaflex. Se recomienda su uso para impresoras con doble extrusor [11].

Otro elemento básico del conjunto del extrusor es la **boquilla o hotend**. Sus dos principales finalidades son: fundir el material y reducir el diámetro del filamento fundido de salida (nozzle). Para fundir el filamento de plástico, se acopla a la boquilla una resistencia encargada de transmitir por conducción calor. Todo queda controlado por un termistor que controla constantemente la temperatura a la que se encuentra la boquilla⁴.

El diámetro de salida de los hotends suele oscilar entre 0.2 y 1.5 mm, siendo los valores más comunes entre 0.4 y 0.5 mm. Cuanto menor es el diámetro, menor es el grueso de capa y, por lo tanto, mejor calidad de impresión. Aun así, el tiempo de impresión aumenta considerablemente.

Para acabar, las partes principales de un extrusor son:

⁴ De recordarse que, dependiendo del tipo de filamento, la boquilla deberá estar a una temperatura u otra para fundir el material correctamente.

- Step motor – tipo Nema 17⁵
- Hotend
- Termistor – sensor de temperatura
- Rueda dentada traccionadora – conectada al eje del motor. Tracciona el filamento
- Rodamiento de presión – presiona el filamento contra la rueda dentada

5.1.5. Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos van todos conectados al conjunto **placa base** (microprocesador) y **shield**. La primera es el elemento responsable de leer el código G.Code y traducirlo a un seguido de movimientos de cada motor. Todo esto es posible gracias al firmware instalado en la placa. Cabe destacar que mediante el shield se puede adaptar el resto de componentes electrónicos (interruptores, sensores, controladores de motor...) a la placa base sin dañarla.

Existen dos modalidades para las placas bases:

a) *Placa base + shield.*

La combinación más usada es **Arduino Mega** junto con **Ramps 1.4**.

b) *Placas integradas todo en uno.*

Generalmente desarrolladas por las propias empresas productoras de impresoras 3D. Algunos modelos más representativos son: Sanguinololu, Rumba o Duet.

A continuación, se muestra la conexión de los diferentes componentes a la RAMPS 1.4. Los zócalos para los pololus más disipadores de calor se encuentran junto los conectores de los motores.

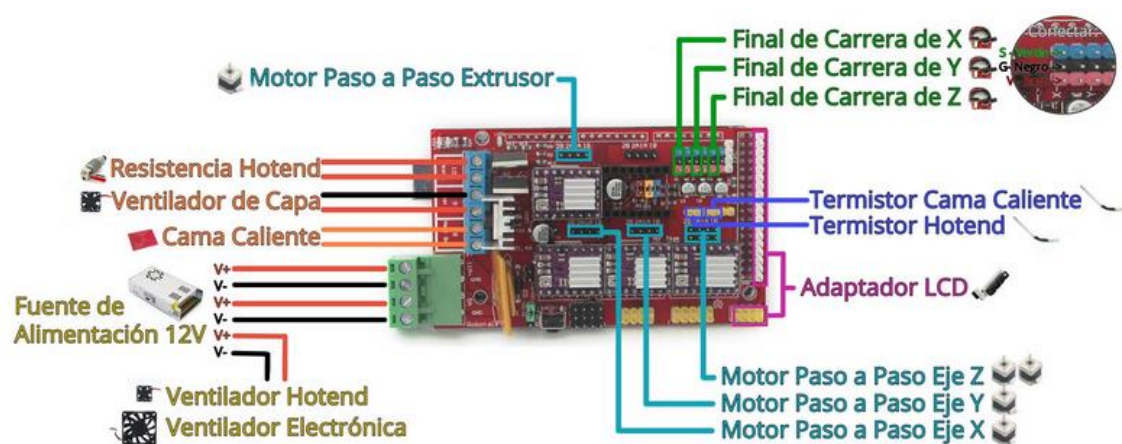


Ilustración 18: Conexión componentes a RAMPS 1.4. Fuente: hta3d.com

Algunos de los elementos electrónicos conectados a Arduino son:

⁵ Los motores Nema 17 empleados para el conjunto del extrusor son más pequeños y de menor torque que los usados para cada uno de los 3 ejes.

- Pololus o Stepper Drivers – mandan los pulsos paso a paso a cada uno de los motores.
- Ventiladores del hotend y de la electrónica
- Pantalla LCD

5.2. Software

5.2.1. Flujo del proceso de información

Para poder entender de forma sencilla y clara el software que el proceso de impresión requiere sería interesante en primer lugar presentar un esquema simplificado de este mismo.

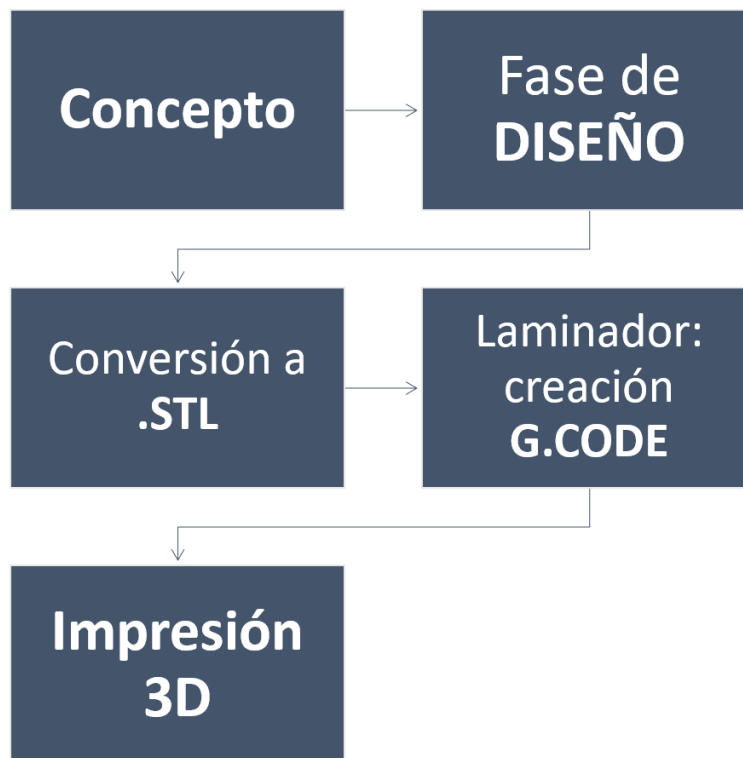


Ilustración 19: Esquema del flujo del proceso de información para imprimir en 3D.

Para poder empezar, es inevitable disponer de una idea/concepto de la figura que posteriormente se imprimirá. Existen infinidad de programas de diseño tridimensional (vectoriales, poligonales o paramétricos) idóneos para modelar dicha idea. Algunos de los más conocidos a nivel doméstico e ingenieril son Catia, SolidWorks, Autodesk Inventor, Autodesk 3ds Max o Blender.

Aun así, dependiendo de la dificultad para desarrollar un modelo CAD o por falta de éste, en ciertas ocasiones se puede optar por la *ingeniería inversa*: a partir de un cuerpo sólido se obtiene una nube de puntos mediante escaneo 3D. Para mayor información, consultar KINECT o NUB3D (actualmente ABB 3DVM).

Una vez modelado el sólido, el archivo CAD debe ser convertido a un formato con el cual el programa de laminado pueda trabajar fácilmente. Generalmente, el estándar es el **.stl** (Stereolithography), introducido por primera vez por Chuck Hull a finales de los 80. El objeto es convertido en una malla de triángulos, en el que cada uno comparte dos aristas con los

triángulos adyacentes. A diferencia de otros formatos como el **.amf**, no abarca información adicional como color o texturas.

Llegados a este punto, se tiene que traducir la información (geometría de la pieza) en formato **.stl** a una secuencia de instrucciones que la impresora sea capaz de procesar. Para ello, la pieza debe ser importada a un programa laminador (p. ej. Cura o Slic3r) que, tras rebanarla en diferentes capas y definiendo el camino que seguirá la boquilla en cada una, genere la secuencia de órdenes legibles por la impresora. El código resultante se llama G.Code y determina por orden los pasos que debe seguir la impresora para materializar el objeto.

Finalmente, controlando también otros parámetros como el espesor de cada capa, la impresora es capaz de imprimir la pieza en tres dimensiones.

5.2.2. Software intrínseco de la impresora

En puntos anteriores se vio que el componente electrónico principal de cualquier impresora 3D es la placa del microcontrolador. La gran mayoría de los kits trabajan con microcontroladores de la compañía Arduino o Raspberry.

Cualquier placa electrónica precisa del software necesario para la interacción directa con el hardware: el **firmware**. En el caso de las impresoras 3D, la lógica de más bajo nivel que controla todos los actuadores ligados al microcontrolador puede ser fácilmente modificada en un ordenador personal gracias a Arduino IDE. Debe recordarse que una de las ventajas principales que tienen los kits de impresora basados en la iniciativa RepRap es que son de código abierto.

Los firmwares más popularmente conocidos y empleados para impresoras de FDM son **Marlin** y **Sprinter**. Ambos gratuitos.

Teóricamente, Marlin fue desarrollado para ser implementado en plataformas Arduino Mega2560 con RAMPS 1.4 [12]. Este firmware controla a tiempo real todas las actividades de la impresora, por ende, la pantalla LCD, los motores, leds, botones y sensores. Para que un elemento pueda ser impreso con Marlin, éste precisa que anteriormente un programa de laminado convierta el CAD a G.CODE.

5.2.3. Software exclusivo del ordenador

Durante el procedimiento de impresión de una pieza hay ciertos pasos en los cuales se requiere el uso de programas exclusivos para el ordenador. Dejando de banda el software de diseño, el ordenador personal debe tener instalados los programas de rebanado y control de impresora.

- **Laminador / Rebanador**

El software de laminación, comúnmente también conocido como *slicer*, es uno de los eslabones básicos previos a la impresión de un objeto en 3D. Se encarga en primer lugar de “interpretar” la información del modelado de la pieza del ordenador a la impresora 3D. Dicho de otro modo, convierte un archivo CAD en un seguido de instrucciones que el firmware de la impresora es capaz de traducir.

Un requisito indispensable para casi cualquier laminador es que la geometría importada esté en formato STL (Stereo Litography), el estándar de la fabricación aditiva. Cumplido este requisito, el slicer se encarga de seccionar el conjunto en láminas de un grosor predefinido por el usuario. Asimismo, el mismo laminador proyecta el seguido de indicaciones necesarias para la impresión, que se guarda como un archivo codificado de tipo G-Code.

Las instrucciones básicas que define el programa de laminación son las siguientes:

- a) Velocidad del extrusor
- b) Velocidad de movimiento de la boquilla térmica
- c) Movimiento de la bandeja (velocidad y posición)
- d) Posición de la geometría
- e) Espesor de capa

Hay que tener en cuenta que el grosor de cada lámina influye directamente en la cantidad final de capas que deberán imprimirse y por ende el tiempo total de impresión. Entonces, a menor grosor de capa, menor velocidad de impresión.

Adicionalmente, cualquier programa de rebanado, como los populares *Cura* o *Slic3r*, procuran en caso necesario los soportes necesarios para aquellas piezas que tienen voladizos. En estos casos el *slicer* deposita material con una trama distinta a la del resto del cuerpo para que posteriormente sea sencilla de retirar. Si se trabajase con dos extrusores, uno de ellos podría estar totalmente enfocado a la elaboración de los soportes en un material fácilmente soluble.

Más adelante se mostrarán imágenes de la interfaz y funcionamiento de un software de laminado.

- **Controlador de impresora – Interfaz**

El programa interfaz que permite controlar activamente la impresora desde el PC suele ser únicamente necesario cuando la comunicación entre la impresora y el ordenador no es mediante una tarjeta de memoria u otro canal indirecto. La conexión directa entre el ordenador e impresora mediante cable USB facilita el control de parámetros como la posición del extrusor, la velocidad de extrusión o la temperatura de la cama sin tener que utilizar la pantalla LCD.

Algunos de los programas interfaz más empleados son: Repetier, Replicator G y Repsnapper 3⁶.

5.3. Puntos a tener en cuenta – Consejos

Tras estudiar los elementos básicos de cualquier kit de impresora 3D por FDM, se ha creído oportuno exponer un seguido de consejos relevantes en la formación en impresión 3D.

⁶ Muchos de los programas interfaz también permiten el laminado de la pieza y el previsualizado.

5.3.1. Especificaciones básicas de cualquier impresora 3D por FDM

Cualquier tipo de tecnología se caracteriza por un seguido de especificaciones que diferencian un modelo de otro y, por ello, el coste de cada. Si tomamos un coche utilitario como ejemplo; uno de los aspectos más relevantes a la hora de decidirse es la potencia. Entre otros factores, los clientes también tienden a fijarse en los acabados interiores, diseño y autonomía.

Antes de proceder a la compra de una impresora 3D, especialmente en ejemplares profesionales, resulta imprescindible cribar según las características que definen cualquier impresora. Generalmente, aquellas que ofrezcan mayor resolución, calidad de acabado o rapidez tendrán un coste superior que su competencia. La siguiente tabla cita los parámetros a tener presente.

Características	Comentarios
Principales	
Precisión de posicionamiento EJE X	Error en el eje X.
Precisión de posicionamiento EJE Y	Error en el eje Y.
Precisión de posicionamiento EJE Z	Error en el eje Z.
Precisión de impresión	Relativo a la resolución. Generalmente se mide en micras.
Velocidad media	En mm/s.
Volumen de trabajo	Define el volumen máximo teórico que puede llegar a imprimir la impresora.
Diámetro del extrusor	Permite usar filamentos de distintos diámetros. Influye directamente en el grosor de capa y la resolución.
Temperatura extrusor máxima	Condiciona los materiales que es capaz de imprimir por FDM.
Temperatura cama caliente máxima	-
Adicionales	
Materiales imprimibles	Determina la cantidad y tipo de materiales diferentes que la impresora puede imprimir por FDM.
Peso	-
Conexión PC - Impresora	Generalmente por USB, Wi-Fi y/o tarjeta SD.
Pantalla táctil	-
Software empleado	Cerrado o código abierto.

Tabla 5: Listado de las características técnicas de una impresora 3D por FDM.

5.3.2. Limitaciones de las impresoras con un extrusor

Los kits de impresora 3D trabajan generalmente con un único extrusor. Ciertamente, los fabricantes venden sus modelos más económicos⁷ de este modo, incluyendo la opción con doble extrusión para gamas superiores. No por ello no puede acoplarse una segunda extrusora a un kit convencional, aunque eso supondría adecuar la estructura y el firmware.

Para diseños con poca complejidad geométrica y de uso personal, un extrusor puede garantizar resultados notables. Eso sí, no permitirá crear piezas de diferentes colores o materiales más no se pare el proceso de impresión en el momento oportuno, cosa no recomendable.

Sin embargo, los diseños más elaborados y con voladizos requieren obligatoriamente de tecnología más avanzada. Emplear dos extrusores permite crear estructuras de soporte para dichos voladizos mediante material fácilmente soluble en agua u otro disolvente. También permite combinar dos materiales distintos en una única estructura (p. ej. ABS + cerámico).

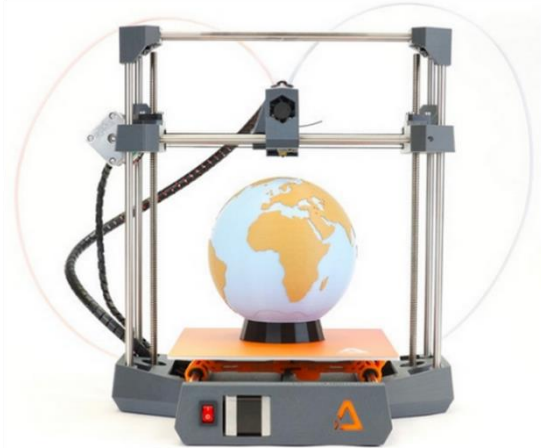
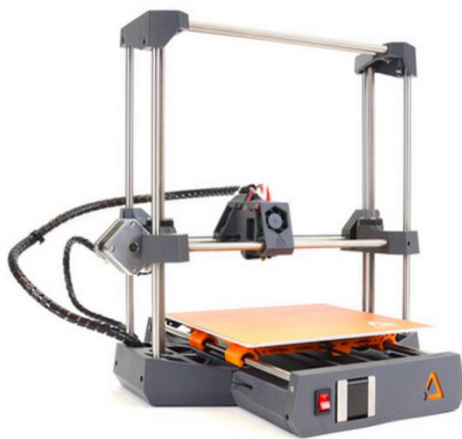


Ilustración 20: A la izquierda, impresora Dagoma Disco Ultimate con 1 extrusor. A la derecha, impresora Dagoma Two-Color Disco Ultimate con 2 extrusores. Fuente: Dagoma.fr

5.3.3. Corrección de modelos en el laminador

Antes de aventurarse a hacer clic sobre el botón de impresión, el sentido común dice que no deben pasarse por alto varios puntos relacionados con el modelo CAD de la pieza y su importación al programa de laminación. A continuación, se comentan ciertos detalles que deben tenerse en cuenta:

- a) *Posicionamiento del sólido en la bandeja de impresión:* todos los programas de rebanado permiten al usuario ubicar la pieza en la posición correcta de la cama. De este modo y gracias a la previsualización en la pantalla del PC, puede garantizarse que la pieza quede siempre dentro de los límites de la bandeja.

⁷ Dependiendo del fabricante, los modelos más económicos en impresoras profesionales pueden rondar tranquilamente los 1500 euros.

- b) *Disposición de la pieza en el espacio*: existen múltiples posibilidades para colocar un objeto en la base de la impresora dependiendo de la cara que se disponga sobre la misma bandeja. No obstante, no todas las combinaciones son óptimas. En el caso de las piezas más complejas y con voladizos, debe escogerse debidamente la cara que quedará en la base. Así, se podrá prescindir de material de soporte y crear menos problemas potenciales.
- c) *Ahuecar objetos*: en muchas ocasiones, no es imprescindible imprimir objetos totalmente macizos. Para aquellos modelos que no necesiten relleno sólido, se recomienda ahuecarlos. Se garantizará un menor tiempo de impresión y reducción de costes y material.
- d) *Definir la escala*: para abaratar costes, se recomienda pensar si el cuerpo debe ser impreso a tamaño real o puede ser escalado.

5.3.4. Conexión PC – impresora

Los métodos para conectar el ordenador personal a la impresora 3D son varios, pero no todos ellos presentan las mismas ventajas dependiendo de la situación. Cabe recordar que el formato G-Code que se obtiene tras importar el archivo STL al programa de laminado debe exportarse directamente a la impresora.

El listado siguiente expone los métodos más comúnmente empleados y sus principales rasgos.

- *Conexión mediante cable USB* – este tipo de conexión es la más sencilla y directa de todas. Obliga al usuario a disponer su ordenador personal e impresora cerca. Desafortunadamente, exige que el PC quede encendido mientras la impresión se lleva a cabo. Una interrupción en éste también supone un parón en la impresión.
- *Conexión Bluetooth* – corresponde a la forma de comunicación PC – impresora Wireless más simple de todas. Aunque su funcionamiento queda condicionado por la separación entre los dos dispositivos (no se recomienda más de 10 metros), es una buena solución para los modelos de impresora más sencillos. Muchas veces, para que la impresora quede habilitada para Bluetooth, es necesario hacer una pequeña modificación del firmware de la placa base (activación del módulo Bluetooth).
- *Tarjeta SD* – muchos de las impresoras 3D incluyen hoy en día una ranura para tarjetas de memoria SD. El archivo G-Code se exporta a este tipo de tarjeta, que se introduce a la impresora. El ordenador no necesita estar encendido durante la impresión y la distancia entre ambos dispositivos es irrelevante.
- *Wi-Fi* – si el modelo de impresora tiene conexión a red Wi-Fi local, ésta es, sin duda, una de las formas más adecuadas para conectar ambos dispositivos. Permite un rango de distancia mayor que Bluetooth. Únicamente se necesitará configurar el PC para que detecte la impresora, muchas veces gracias a un programa “puente” que lo facilite.

6. Puesta en práctica

El objetivo principal del presente proyecto es la elaboración de un manual de montaje para un kit de impresora a elección del autor. De todos modos, resulta oportuno ir un poco más allá y hacer un primer testeo del dispositivo. El fin de esto no es otro que dejar totalmente lista la impresora (calibración) y verificar que se consigue una impresión acorde a las especificaciones del proveedor.

6.1. Criterios previos – preparación de la impresora

Una de las desventajas principales de cualquier impresora no ensamblada de fábrica es que una vez montada no puede ponerse a imprimir directamente. Es inevitable hacer un seguido de calibraciones y comprobaciones previas que la dejen completamente lista. Cada uno de los puntos que suceden detallan qué debe hacerse antes de aventurarse a imprimir, desde las comprobaciones manuales hasta la introducción del filamento en el extrusor.

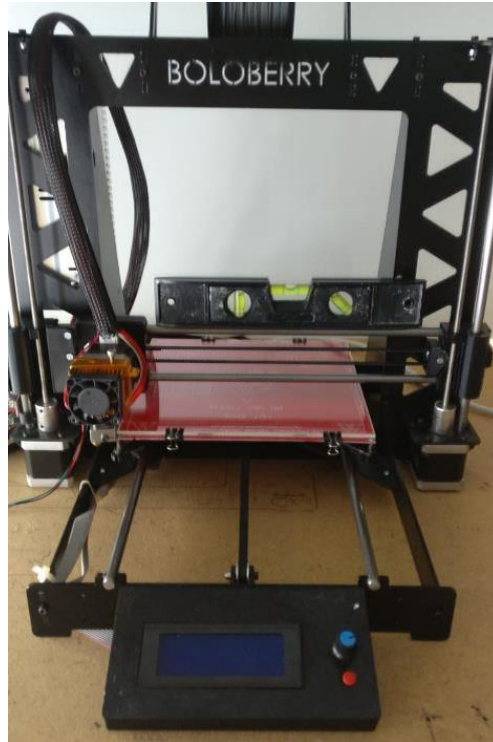
6.1.1. Comprobaciones manuales – impresora apagada

Los siguientes chequeos son de vital importancia para asegurar que los puntos más básicos de la impresora están correctos y nada trascendental queda pendiente por montar o regular.

Con la impresora totalmente apagada, deben llevarse a cabo las siguientes rutinas de comprobación:

- a. Las pinzas negras que ajustan la base de vidrio con la cama caliente están colocadas 2 a 2 en los costados perpendiculares al eje Y de la base de impresión.
- b. La base de vidrio está totalmente despejada y limpia de polvo.
- c. Para garantizar que la plataforma de impresión puede recorrer todo el eje Y sin problemas, debe desplazarse de un extremo al otro sin ningún tipo de incidencia.
- d. Del mismo modo que en el punto anterior, el conjunto del extrusor debe moverse de extremo a extremo del eje X.
- e. Lubricar las varillas roscadas del eje Z, sin rociar directamente el aceite.
- f. Las correas de los ejes X e Y están lo suficientemente tensas.

Adicionalmente, se recomienda verificar que ambas piezas impresas de los extremos del eje X se hallan a la misma altura. Muy posiblemente, durante el montaje (Véase ANEXO 5 – Manual de montaje PRUSA P3 Steel Pro), al introducir las varillas roscadas de eje Z no se prestó atención en dejar ambas piezas niveladas. Una forma sencilla para comprobarlo y ajustarlo es la siguiente: emplear un nivel (herramienta) y colocarlo sobre las varillas del eje X. Girar una de las varillas roscadas hacia un sentido u otro para que éste marque total horizontalidad.



Il·lustració 21: Ejemplo de nivelación del eje X

Por último, con la impresora encendida y sin utilizar la pantalla LCD, resta comprobar que los endstops funcionan correctamente. Para cada uno de los tres finales de carrera, es necesario pulsar su interruptor y verificar que se enciende el LED del mismo endstop.

6.1.2. Homing

Una vez realizadas las comprobaciones iniciales y con la impresora ya encendida, el usuario puede ejecutar el primer comando de la pantalla LCD: el **homing**.

Si todo funciona correctamente, seleccionando esta opción el Arduino se encargará de llevar el extrusor a la esquina inferior izquierda de la base de impresión. Bien puede observarse que el extrusor se coloca a $X = -17\text{mm}$ (ver pantalla LCD), en vez de $X = 0\text{mm}$. El motivo es simple, la boquilla del extrusor queda más a la izquierda del lateral izquierdo de la base de impresión porque por defecto esta posición se configuró para fácil *limpieza y desembozo del hotend*.

Hay que entender que la impresora realiza un *homing* antes de iniciar cualquier función. Es decir, si seleccionamos el *programa de nivelación de cama*, por ejemplo, el dispositivo deberá colocarse en cada una de las cuatro esquinas de la plataforma. La única forma que tiene para posicionarse cada punto exacto es referenciarlo respecto una coordenada "cero". Aún así, la máquina desconoce cuál es su posición (0,0,0) hasta que no hace un *homing*. Es por eso que, para asegurarse, antes de iniciar la impresión de una pieza, el extrusor se desplaza hasta que activa los tres endstops y resetea el punto de inicio de referencia.

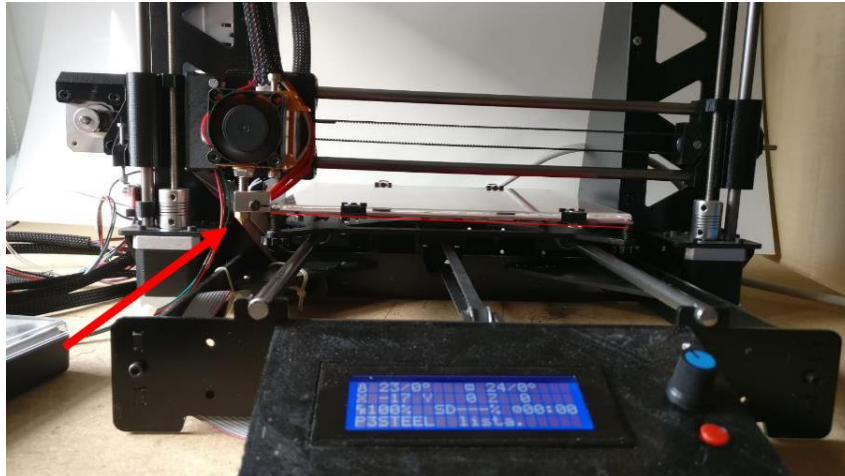


Ilustración 22: Posición de Homing

6.1.3. Nivelación de la base – ajuste eje Z

Este es uno de los puntos imprescindibles a realizar al acabar de montar cualquier kit. El motivo es sencillo: el *homing* en el eje Z puede no ser igual en todos los puntos de la base de impresión.

Primeramente, hay que verificar que cuando se hace homing para los tres ejes, la punta del nozzle queda exactamente a la altura de la base. Si resulta no ser así, habrá que ajustar la altura del endstop Z o bien subir o bajar el tornillo que pulsa dicho endstop.

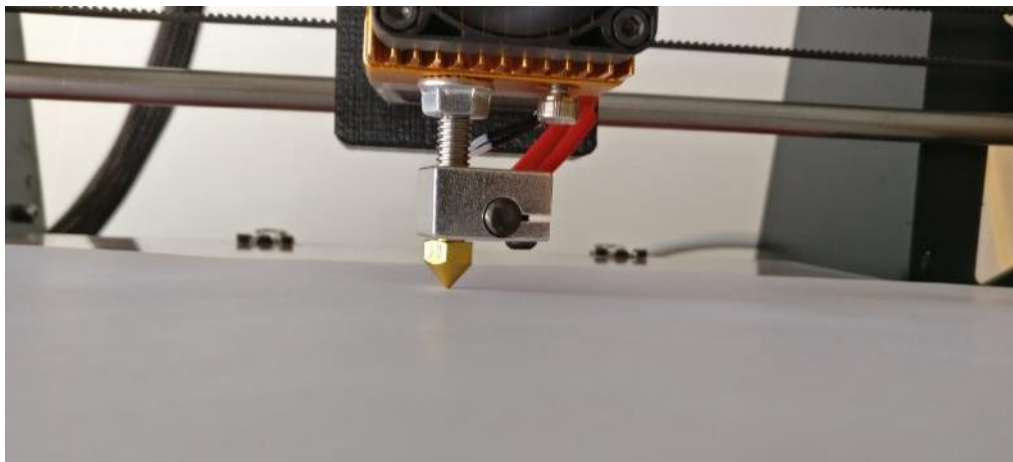


Ilustración 23: Ajuste de la altura del eje Z con un folio de papel.

Por otro lado, se comprueba que las 4 esquinas de la plataforma están a la misma altura. Una a una, el extrusor se coloca sobre ellas ($Z = 0$) y con un folio de papel se verifica que pueda pasar por debajo con un poco de roce. Tanto si la hoja queda muy justa como demasiado suelta, se aprietan más o menos los muelles de las esquinas.

Afortunadamente, el anterior proceso puede realizarse rápidamente si se usa el programa “**nivelar cama**” de la pantalla LCD. La boquilla del extrusor se posicionará en cada una de las esquinas de la plataforma y en ellas podrá ajustarse más o menos el tornillo dependiendo de cómo de ajustado quede el folio de papel.

6.1.4. Introducir y retirar filamento

Introducir el filamento en un extrusor MK8 como el que monta la Prusa P3 Steel Pro no tiene gran complicación.

Antes que nada, la bobina de filamento debe estar colocada en la parte superior de la estructura destinada a tal uso. Es necesario que el extremo del filamento siempre pase por encima del marco de la impresora y que parta de la parte superior de la bobina y no por debajo.

Para introducir el filamento dentro del extrusor:

- a. Precalentar el hotend. Si se desea introducir PLA, deberá precalentarse a 190°C. Si es ABS, llevar la boquilla hasta los 240°C.

Para ello, en el menú principal de la pantalla LCD haga clic en la rueda de control. Acto seguido, girando la misma rueda en el sentido contrario de las agujas del reloj, seleccione Preparar. En el nuevo listado que aparecerá, baje el cursor hasta encontrar la opción "Precalentar PLA" o "Precalentar ABS" según desee. Para mayor información, consulte el ANEXO 2 – Menú LCD.

Vuelva a la pantalla principal y observe cómo la temperatura del hotend va aumentando hasta llegar a los 190 o 240°C.

- b. Coger el extremo del filamento y hacerlo pasar por encima del marco de la impresora.
- c. Introducirlo por el orificio de la parte superior del extrusor marcado con el círculo azul.
- d. Apretar el gatillo, flecha roja, para permitir que el filamento baje sin oposición del motor.
- e. Llegados a este punto, seleccionar el programa "Introducir filamento" del menú Preparar de la pantalla LCD.

La impresora llevará a cabo dos procesos, uno seguido del otro. Primero expulsará automáticamente filamento en caso de que hubiera. Acto seguido, pedirá al usuario que introduzca el extremo del filamento por el orificio marcado en azul hasta quedar en contacto con la rueda dentada y la polea. Si se pulsa el botón de la pantalla LCD, el motor del extrusor empezará a tirar del filamento e introducirlo a través del orificio marcado verde.

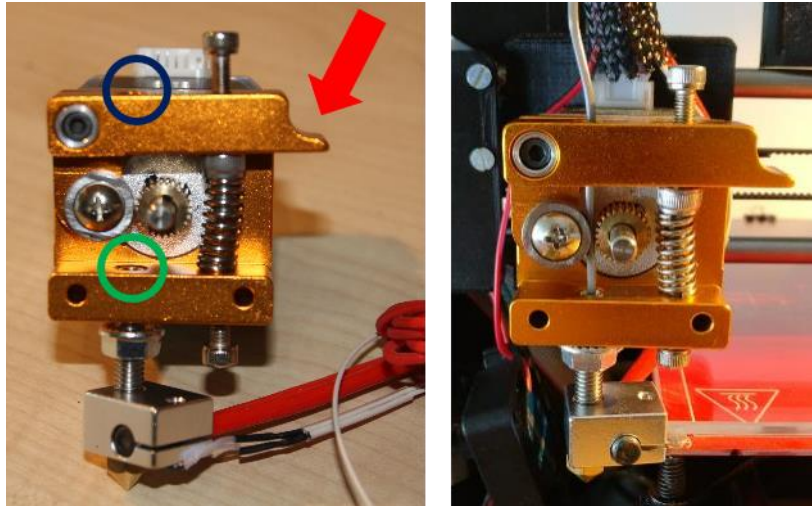


Ilustración 24: Introducción de filamento en extrusores MK8

Para retirar filamento:

- Precalentar el hotend de nuevo hasta la temperatura deseada según el plástico empleado.
- Estira hacia abajo manualmente el posible resto de filamento que haya quedado en la boquilla.
- Extrae firme y constantemente el filamento presionando el gatillo.
- Una vez retirado totalmente, corta el tramo final del filamento. Éste no es útil puesto que se ha ensanchado al retirarlo del extrusor.

El filamento de plástico también puede retirarse con el programa “Introducir filamento” de la pantalla LCD.

Siempre que se quiera guardar una bobina, la punta del filamento debe fijarse en unas ranuras/orificios del propio carrete. Así se podrá garantizar que no se forman nudos en el bobinado para la próxima vez que vaya a emplearse. Tales nudos tienden a impedir que el extrusor pueda tirar correctamente del filamento.

6.2. Fases de impresión

Con la impresora ya lista para realizar la primera prueba/testeo, es momento de repasar los pasos necesarios para imprimir una pieza desde el diseño CAD hasta la materialización total.

Aunque se tomará un modelo de testeo comúnmente empleado en primeras impresiones y, por lo tanto, la fase de modelado no es necesaria (excepto descargar el fichero STL).

6.2.1. Modelado

Se entiende por fase de modelado al proceso de convertir una idea en un fichero apto para ser impreso. Las dos etapas principales son:

- Diseño o descarga del objeto en tres dimensiones.

2. Exportación a formato STL o equivalente.

En apartados anteriores, exactamente en el 5.2.1, se citaron algunos de los programas de modelado 3D más comúnmente utilizados tanto ingenieriles como de diseño gráfico. Puesto que cada usuario es libre de emplear un programa u otro, ya sea vectorial o paramétrico, no se entrará en más detalle en este punto.

Por otro lado, algunas de las páginas web más populares donde encontrar modelos en 3D para descargar en formato STL son:

Thingiverse	Enlace a Thingiverse
GitHub	Enlace a GitHub
Sketchfab	Enlace a Sketchfab
MyMiniFactory	Enlace a MyMiniFactory

Tabla 6: Páginas web de modelos 3D más populares

Un tercer método alternativo sería el digitalizado 3D de piezas. Este método de ingeniería inversa, actualmente muy usado en controles de calidad industrial, es capaz de recrear cuerpos en tres dimensiones (nubes de puntos) a partir de un gran número de fotografías en 2D desde múltiples perspectivas incidiendo un patrón de luz blanca o azul sobre la superficie.

Muchas de las empresas que emplean este sistema de digitalizado requieren de, además de las fotografías tomadas del cuerpo, una plantilla de fotogrametría. La fotogrametría crea un volumen en el espacio gracias al cual todos los puntos escaneados por las fotografías bidimensionales pueden ubicarse correctamente.

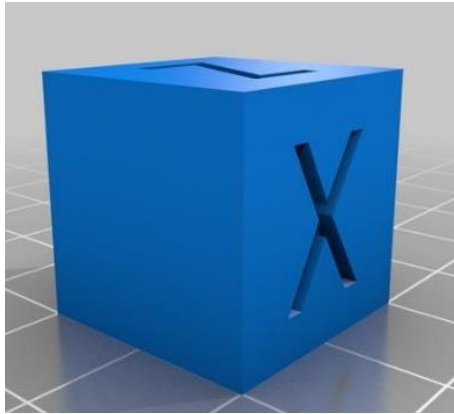
Ciertos materiales, como los metales, producen excesivo brillo cuando se les proyecta el haz de luz. Por eso presentan grandes problemas para ser escaneados en 3D, más no se controle la intensidad de luz blanca que incide sobre ellos.

Existen infinidad de variantes en el mercado tanto profesionales como domésticas para el escaneado 3D, como también diferentes técnicas (escáneres láser, estereoscópicos, escáneres de luz). Algunas de las soluciones más reconocidas en el sector industrial son: escáner Sidio de Nub3D (actualmente pertenece a ABB), escáner láser rotatorio Faro o el GOM Atos Core de GOM. A nivel particular destacaría la Kinect de Microsoft o el Digitizer de MakerBot.

Sea cual sea el método de obtención del documento en 3D, la etapa de modelado finaliza cuando el objeto se exporta al formato **STL** o cualquier otro con el que el programa de laminado pueda trabajar.

6.2.2. Preparación

Esta etapa básicamente consiste en configurar los parámetros de impresión y de la pieza con el programa de laminado deseado. En este caso, se trabajará con CURA de MakerBot y la pieza de prueba/calibración será la comúnmente empleada en primeras impresiones: el **cuco XYZ** de 20x20x20mm.



Il·lustració 25: Peça de calibració per primera impressió (cubo XYZ).

En primer lugar, se importa el archivo a CURA. El software tiene infinidad de herramientas y parámetros para modificar el sólido y la calidad de impresión. En este proyecto solo se modificarán los necesarios para la impresión del cubo. De todos modos, ya que la pieza tiene muy poca problemática (no requiere de soporte o de atención especial), no se necesitará usar muchas de las herramientas adicionales que ofrece CURA.

Entonces, los parámetros a fijarse son:

- **Posición** – Ubicar la pieza en el centro del volumen. **No** es necesario escalar o rotar el modelo en este caso.
- **Material** – Seleccionar la opción predefinida *Generic ABS*. Al seleccionar ABS, el programa automáticamente establece la temperatura que tendrá el hotend (240º), la de la cama caliente (80º) y otros parámetros como la densidad, la distancia de retracción (6.50mm), la velocidad de retracción (25mm/s) y la velocidad del ventilador (100%).
- **Ajustes de impresión** – Modificar los siguientes ajustes y dejar el resto con su valor por defecto.
 - **Soporte:** desactivar la opción “*Generar soporte*”. No hay partes en voladizo.
 - **Altura de capa:** 0.1mm.
 - **Altura de capa inicial:** 0.3mm.
 - **Ancho de línea:** 0.4mm.
 - **Velocidad de impresión:** 100mm/s. La impresora puede llegar hasta los 200mm/s, pero para asegurar mejor calidad y superposición de capas esta vez se ajusta a 100mm/s. No es necesario modificar el resto de velocidades.
 - **Activar refrigeración de impresión:** la impresora no tiene ventilador de capa. Ninguno de estos parámetros es relevante.
 - **Modo Peinada (Desplazamiento):** *todo*.
 - **Evitar partes impresas al desplazarse (Desplazamiento):** (*tick*).
 - **Adherencia de la plaza de impresión:** *borde*. El borde genera una zona plana de una sola capa alrededor de la base para evitar que se deforme.

NOTA: En ciertos casos, si se desea economizar en material, puede ser de interés vaciar la pieza elaborando una segunda capa de muro en el interior de la pieza. Esto también reducirá notablemente el tiempo de impresión.

Para mayor información acerca de la interfaz de Cura y cómo instalar el software, véase *ANEXO 1*.

Finalmente, solo queda laminar el sólido en capas y guardarlo en formato G-CODE en una tarjeta SD extraíble.

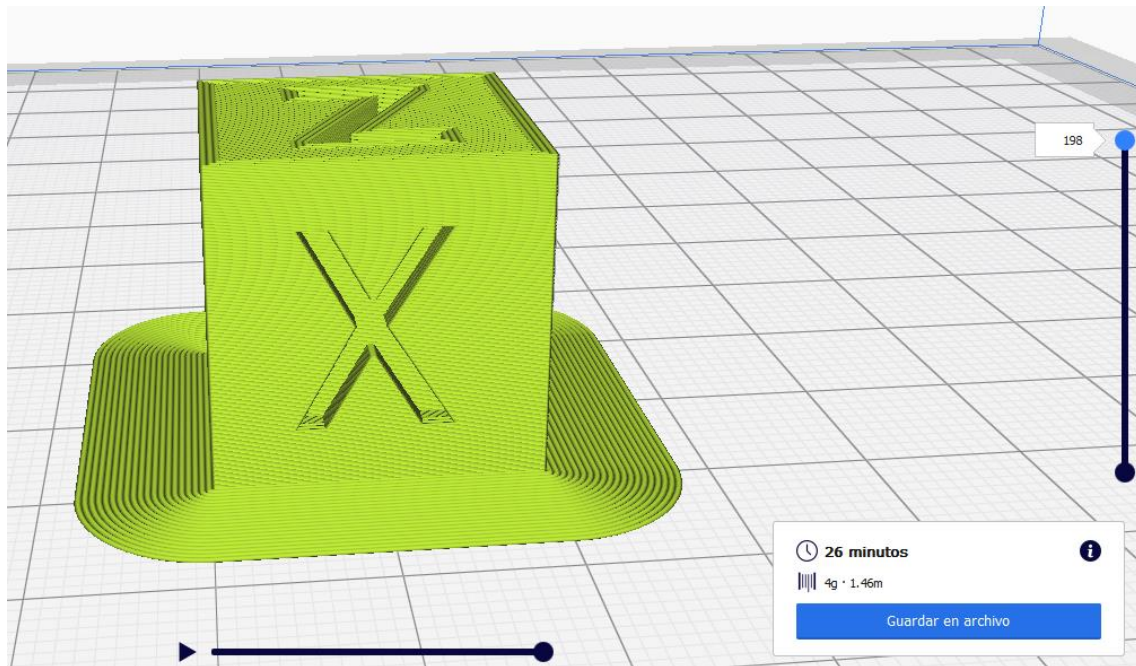


Ilustración 26: Resultado de la laminación del cubo XYZ y tiempo estimado de impresión.

6.2.3. Impresión

Cuando la pieza ya está lista para imprimir, finalmente solo queda introducir la SD en la en el lector de tarjetas de la pantalla y seleccionar el proyecto.

Por norma general, el propio firmware de la impresora, Marlin, se encargará gracias al archivo G-CODE generado de precalentar la cama y el extrusor a las temperaturas adecuadas. En el caso del ABS y de la impresora PRUSA P3 Steel Pro de Boloberry, primero la temperatura de la cama subirá hasta los 80°C y, una vez en ese punto, lo hará el extrusor hasta los 240°C.

Cuando las preparaciones previas ya están listas, la impresora realiza un *homing* y comienza a imprimir en la posición que se fijó en el anterior apartado.

Pronterface es un programa de control de impresión a tiempo real que permite controlar los movimientos de la impresora antes de impresión y disponer de la visualización de la pieza en 3D durante la impresión, entre otras funcionalidades. Cura incorpora este software. Para acceder a él, únicamente es necesario conectar la impresora con el ordenador y abrir la pestaña de *Supervisar* en Cura.

NOTA: La impresión puede cancelarse o pararse en cualquier momento desde el menú de la pantalla LCD.

6.2.4. Acabado

Por último, una vez completada la impresión (recuérdese que Cura estima el tiempo requerido cuando lamina la pieza), la pieza está totalmente lista. Aunque pueda resultar trivial, retirar la pieza de la base de impresión puede resultar muchas veces tedioso. La primera capa tiende a adherirse a la superficie de tal manera que no se puede retirar el objeto haciendo fuerza. En estos casos, antes de forzar la pieza, es mejor optar por soluciones alternativas. La incidencia **d** del siguiente apartado propone un método eficaz, seguro y rápido para separar la pieza del vidrio sin problemas.

La pieza obtenida de la primera impresión, sin tener en cuenta los errores surgidos previamente, se muestra en la siguiente imagen. *Nota:* en el cubo de a continuación, no se ha retirado la capa extra que mejora la adherencia con la base de impresión.

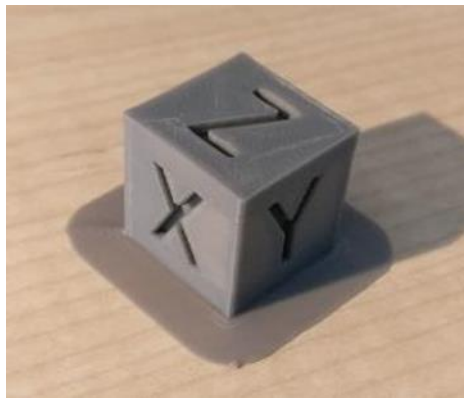


Ilustración 27: Resultado de la primera impresión, XYZ Cube.

Llegados a este punto es necesario preguntarse “¿Está totalmente bien impresa la pieza?” y “¿Necesita algún tipo de acabado?”.

Primero, se dará respuesta a la segunda pregunta. En el caso que ocupa; no, no es necesario ningún tipo de proceso de acabado. Por norma general, el **ABS** presenta una buena textura superficial y carece de rugosidades siempre que no hubiera defectos en la impresión. Así se puede comprobar con la pieza de la ilustración 27. No hay aristas vivas o partes de la pieza donde deba lijarse o retirarse material excedente. Aún así, el usuario es totalmente libre de aplicar capas de pintura u otro acabado estético.

Por otro lado, es interesante cuestionarse si el objeto tiene algún defecto debido a un mal ajuste de la impresora. A simple vista se puede catalogar la impresión como **perfecta**. Todos los costados miden lo mismo y ninguna de las letras X, Y y Z de las caras del hexaedro muestran defectos. Por ello, los tres ejes de la impresora están bien calibrado y las correas suficientemente tensas.

El listado bajo estas líneas justificará el porque de tal afirmación en base a los problemas más comunes esperados.

- **"Under-extrusion"**. La impresora no extruye suficiente plástico en los espacios entre el relleno interior y el perímetro.

La pieza impresa NO presenta este tipo de defecto. Las capas son robustas y bien rellenas.



Ilustración 28: Comparación pieza con "under-extrusion" y cubo XYZ impreso (derecha).

- **Separación de capas**. Las capas se separan durante la impresión. No hay una buena adherencia entre una capa y las que sucede y precede. Tiende a suceder debido a que la altura de capa es demasiado grande o la temperatura de extrusión no suficientemente elevada.

La pieza impresa NO presenta este tipo de defecto. Todas las capas están bien apelmazadas entre sí.

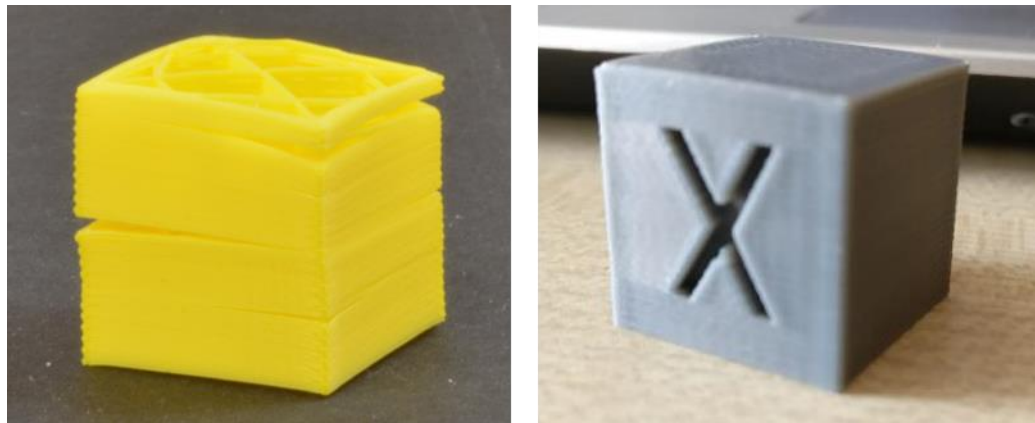


Ilustración 29: Comparación pieza con separación entre capas y cubo XYZ impreso.

- **"Warping"**. Problema común en materiales como el ABS que precisan de cama caliente. La primera capa de la pieza tiende a separarse de la superficie de impresión. Problema común en piezas con mayores dimensiones.

La pieza impresa NO presenta este tipo de defecto. Cura se encargó de crear una primera capa más extensa que ayudase a prevenir la contracción del material.

- **Rugosidades en las caras del cubo.** Una mala calidad del filamento incluso la variación de temperatura puede provocar que las caras laterales del cubo, en este caso, puedan presentar rugosidades debido a que una capa sobresalga más o menos que la otra.

La pieza No presenta este tipo de defecto. Las caras son totalmente lisas.

6.3. Defectos de impresión y problemática

El procedimiento de impresión difícilmente es totalmente satisfactorio la primera vez. Ciertamente, ese es el fin de los primeros testeos: comprobar dónde falla el sistema y aprender de los errores. Bajo estas líneas se exponen los resultados obtenidos con las primeras impresiones y si ha sido posible corregir los errores.

- INCIDENCIA:** La primera vez que se inicia el programa de impresión con el objeto de calibración XYZ, la impresora no es capaz de extruir material.

CAUSA: En un principio se creyó que el problema era debido a que el filamento no se había introducido correctamente. Sin embargo, tras inspeccionar el sistema, se vio que el radicaba en un fallo en el montaje de la rueda dentada del eje del motor. Cuando el eje del motor giraba, el engranaje no lo hacía por no estar bien ajustado.

SOLUCIÓN: Recolocarla la rueda dentada en el eje del motor prestando atención a la muesca de éste. La rueda tiene un par de *pitones roscados* negros que ayudan a ajustarla al motor.

- INCIDENCIA:** El filamento extruido no se adhiere a la superficie de vidrio de la cama. Se produce una “pelota” de plástico alrededor del nozzle.

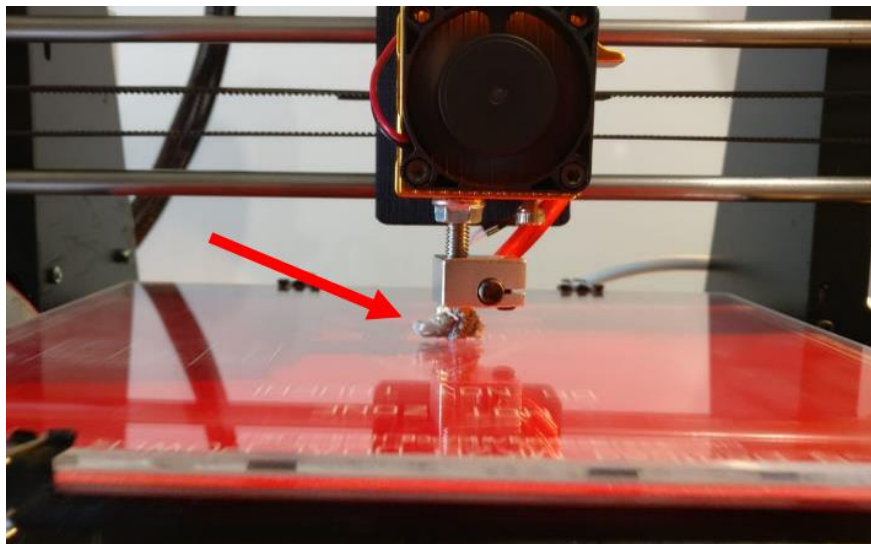


Ilustración 30: Incidencia (b). Falta de adherencia del plástico a la base

CAUSA: La superficie no ofrece la suficiente adherencia para que el ABS quede enganchado a ella. Principalmente la primera capa.

SOLUCIÓN: Rociar laca de pelo sobre la base de vidrio antes de cada impresión.

- c. **INCIDENCIA:** A partir de cierto momento de la impresión la boquilla deja de extruir plástico ABS, mientras ésta sigue moviéndose.

CAUSA: el nozzle ha quedado obstruido por el filamento que no pudo ser extruido debidamente en las primeras pruebas (Incidencia b). Aunque se expulsó el filamento procedente de la bobina, los restos de plástico solidificado eran suficientes para que no se pudiera extruir.

SOLUCIÓN: (1) La solución más rápida y sencilla consiste en cambiar la boquilla por una nueva del mismo tipo (0.4mm) y verificar que el resto del conducto está despejado.

(2) Si no se tienen boquillas de repuesto, puede desatascarse el nozzle manualmente.

PROCEDIMIENTO PARA DESATASCAR EL NOZZLE:

- I. Desmontar todo el conjunto del extrusor del eje X. Separar el tramo final inferior del resto.
- II. Precalentar la boquilla a 240° para poder fundir el plástico fundido.
- III. Forzar mediante llaves Allen, de mayor a menor diámetro, y finalmente con un alfiler a que el plástico que bloquea el tramo final del extrusor fluya por la punta de 0.4mm del nozzle.

Debe tenerse especial cuidado de no quemarse las manos. Puede utilizarse una llave inglesa cogida con guantes para sujetar el hotend.

- IV. Con un cepillo de dientes limpiar el plástico fundido en la cara exterior de la boquilla.
- V. Apagar la impresora, dejar enfriar y montar de nuevo todo el extrusor al motor NEMA 17 de 40mm.

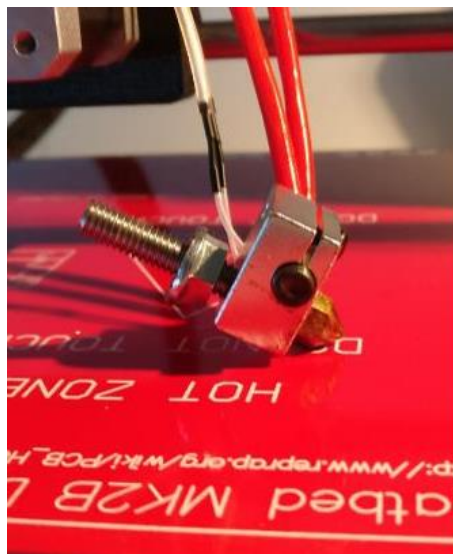


Ilustración 31: Incidencia (c). Izquierda: Tramo final del extrusor. Derecha: Proceso de desatasco del nozzle.

- d. **INCIDENCIA:** Las piezas impresas quedan excesivamente adheridas a la base de vidrio. Resulta casi imposible de retirar sin dañar la superficie o la propia pieza.

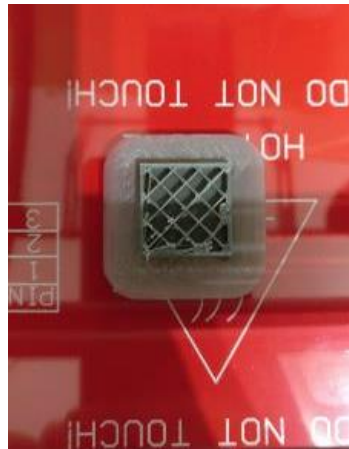


Ilustración 32: Incidencia (d). La pieza no puede separarse de la base de vidrio.

SOLUCIÓN: La forma más segura, sencilla y rápida consiste en dejar enfriar la plataforma de vidrio con la pieza en una cámara refrigeradora (p.e. congelador). Pasados 15 o 20 minutos, la pieza podrá separarse aplicando muy poco esfuerzo en la base con una espátula.

- e. **INCIDENCIA:** Tras limpiar y desembosar el hotend (incidencia c), se ha vuelto a montar todo el extrusor al eje X. Se carga el filamento de nuevo y se inicia la impresión de nuevo. Sin embargo, el extrusor no es capaz de extraer material por el nozzle. El filamento no avanza y se escucha un “traqueteo” de la rueda dentada fijada al eje del motor.

CAUSA: Una vez resuelta la incidencia c, la rueda dentada que queda fija en el eje del motor es montada de forma incorrecta. Los pequeños tornillos negros encargados de ajustar el engranaje con el eje quedan mirando hacia el exterior del motor. Esto conlleva a que este tramo de la rueda dentada quede en contacto con el disipador de calor y, cuando el motor Nema 17 gira, su movimiento se vea obstaculizado.

SOLUCIÓN: Volver a colocar la rueda dentada del eje del motor mirando hacia el interior.

- f. **INCIDENCIA:** Una vez puesta en marcha la impresora, habiendo corregido la incidencia anterior, y con el programa seleccionado, la impresión empieza descentrada en el eje Y. A medida que se finaliza una capa, el eje Y más se descentra y la impresión se desplaza hacia la parte posterior de la base (la cama se adelanta cada vez más hacia el frente).



Il·lustració 33: Incidencia (f). Desplazamiento de la impresión hacia la parte trasera del eje Y.

CAUSA: Sin motivo aparente, la polea GT2 que queda fijada al eje del motor Y se ha desaflojado. En principio, esto es debido a que los pequeños tornillos negros que fijan un cuerpo con el otro se han desajustado y la polea ahora queda libre. El motor gira sin problema, pero el movimiento no es capaz de transmitirse debidamente a la correa.

SOLUCIÓN: Desmontar el motor Nema del eje Y de la estructura y volver a apretar los anteriores tornillos de la polea GT2 al eje. Cuando se vuelva a ensamblar todo, debe prestarse atención a que la correa quede bien tensa y centrada.

7. Resultados y propuestas de mejora

A lo largo del montaje de la impresora surgieron un seguido de incidencias que alargaron el proceso. Bajo estas líneas se comentarán los problemas hallados, la forma en que se resolvieron y, en la mayoría de los casos, una posible explicación del motivo del fallo. Posteriormente, se presentarán las mejoras aplicadas en la impresora tanto para corregir las anteriores incidencias como para optimizar ciertos aspectos que se han creído relevantes.

Téngase en cuenta que las incidencias y resultados que tienen que ver con el testeo y primera impresión con la impresora 3D ya se explicaron en el apartado 6 “Puesta en práctica”.

7.1. Incidencias en el proceso de montaje

Se ha creído necesario reportar las incidencias más relevantes encontradas a lo largo del proceso de ensamblaje de la impresora. El manual de montaje no incluye explícitamente un apartado que liste los posibles problemas que se puedan ocasionar y como solventarlos ya que en la explicación de cada uno de los pasos ya se añadieron los comentarios y advertencias oportunas. Todas ellas como resultado de la experiencia de montaje propia del autor.

- a. **INCIDENCIA:** La fuente de alimentación no puede fijarse en el lateral de la impresora (E03) porque las 2 ranuras en la chapa de acero no coinciden con la posición de los orificios roscados de la fuente.

PROPUESTA: crear dos nuevos agujeros con el taladro de M3 en E03 en la posición adecuada. De todos modos, es una solución puntual y arriesgada no aplicable a otros kits.

PROPUESTA APLICADA: véase apartado “7.2.2. Sujeción de la fuente de alimentación mediante tiras de velcro”.

- b. **INCIDENCIA:** Los cuatro orificios de la pieza lateral izquierda de la estructura (E03) donde se fija la placa Arduino son de menor diámetro que los tornillos M3.

PROPUESTA APLICADA: retaladrar los anteriores agujeros con una broca ligeramente superior a 3mm de diámetro para que puedan pasar dichos tornillos.

- c. **INCIDENCIA:** tras el completo montaje de la impresora, la pantalla LCD muestra ningún display aun estando la impresora alimentada.

EXPLICACIÓN: La placa de Arduino se cortocircuitó. Cuando ésta se fijó a la estructura, no se protegió debidamente del acero de la estructura, por lo que Arduino y chapa metálica quedaron el uno en contacto con el otro. Este suceso explicaría porque la pantalla LCD no recibía señal alguna del microcontrolador.

PROPUESTA APLICADA: comprar una nueva placa Arduino Mega 2560 y aislarla de la estructura colocando 4 pequeños cilindros de plástico en cada uno de los tornillos que la sujetan al lateral de la estructura. Los cilindros quedan entre el Arduino y la chapa de acero.

- d. **INCIDENCIA:** Los soportes de plástico impresos de los endstops se rompen muy fácilmente cuando se montan en las varillas lisas de los ejes X y Z.

PROPUESTA: rediseñar las piezas con un grosor mayor y con un material plástico más flexible.

- e. **INCIDENCIA:** El número de tornillos incluidos en el kit no coincidía con el necesario para el montaje. Especialmente los de M3x10.

PROPUESTA APLICADA: se han comprado tornillos y tuercas autoblocantes adicionales de M3x10 y M3 respectivamente.

- f. **INCIDENCIA:** No es sencillo introducir los rodamientos LM8UU a través de los orificios destinados a ellos de las tres piezas impresas que forman el eje X. El diámetro del orificio es más pequeño e introducirlos a golpe de maza es arriesgado.

PROPUESTA: La calidad del material de las piezas impresas debería ser mejor (p.e. aluminio o acrílico) y tener un mejor sistema de ajuste de los rodamientos. Una mejora comúnmente empleada para este segundo punto sería emplear rodamientos lineales con soporte incluido como el siguiente.



Ilustración 34: Rodamiento lineal LM8UU con soporte. Fuente: todoelectronica.com

7.2. Mejoras aplicadas

Casi cualquier kit de impresora 3D acepta o, mejor dicho, requiere de mejoras adicionales. Por lo general, los fabricantes proveen los kits para que una vez montados estén listos para emplearse, como es el caso de Boloberry. De todos modos, los manuales de montaje que

proporcionan no contemplan cómo abordar algunos tipos de problema en caso de fallo o qué “extras” se podrían aplicar para mejorar el dispositivo.

A continuación, se exponen las mejoras ideadas y aplicadas en el modelo Prusa P3 Steel Pro montado. Muchas de ellas fueron pensadas mientras se ensamblaba la impresora y otras por una mejor organización de los componentes que la integran.

Mejoras tales como un segundo extrusor o ampliar la superficie de impresión NO se han tenido en cuenta por dos sencillos motivos: incumpliría el requisito básico *“el conjunto de las mejoras aplicadas no puede superar los 35 euros”* y son mejoras más apropiadas cuando el usuario ya tiene cierto rodaje con la impresión 3D.

7.2.1. Cilindro coaxial al portafilamentos

Uno problema básico que debía solventarse tarde o temprano, incluso sin haber imprimido por primera vez era centrar la bobina de filamento a la varilla roscada que lo sujeta. Es fácil de intuir que, si la bobina no es concéntrica a la varilla, esto podría ocasionar problemas cuando el extrusor tirase del filamento.

Por lo tanto, se ha diseñado e impreso en 3D un soporte cilíndrico para el carrete de bobina. El diámetro exterior coincide (teniendo en cuenta el juego necesario para incrustarlo en el carrete) con el diámetro interior de la bobina, mientras que el interior del soporte es idéntico al diámetro nominal de la varilla roscada. El carrete de bobina, el soporte y la varilla roscada son finalmente concéntricos entre sí.

Las siguientes figuras ilustran el diseño del soporte cilíndrico y su montaje con los otros elementos.



Ilustración 35: Izquierda. Soporte cilíndrico para bobina impreso en 3D. Derecha: Conjunto soporte y carrete de bobina



Ilustración 36: Izquierda. Detalle del conjunto soporte y carrete de bobina. Derecha. Visión completa de la impresora con la bobina de filamento

7.2.2. Sujeción de la fuente de alimentación mediante tiras de velcro

Durante el montaje de la impresora, específicamente en el apartado de la preparación de la electrónica (véase apartado 3.3 Electrónica del ANEXO 5 - Manual de Montaje PRUSA P3 Steel PRO), se encontró el problema de que el fabricante del kit no había hecho los agujeros necesarios en la estructura para fijar la fuente de alimentación. En un principio, ésta debía acoplarse al lateral izquierdo mediante 2 tornillos roscados en la misma fuente.

Como solución mejorada, se optó por usar tiras de velcro adhesivas de doble cara que se engancharon tanto en una cara de la fuente de alimentación como en el lateral de la estructura. El principal beneficio de esta alternativa es que la primera puede separarse de la segunda fácilmente y recolocarse según la necesidad.

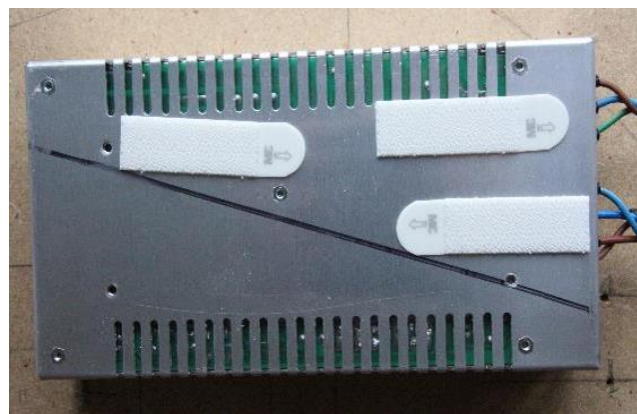


Ilustración 37: Tiras de velcro adheridas en la superficie de la fuente de alimentación

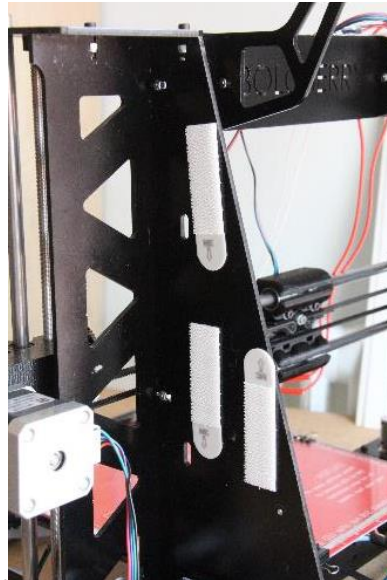


Ilustración 38: Tiras de velcro adheridas en el costado lateral izquierdo de la estructura.

7.2.3. Portacables elásticos de plástico

La elevada cantidad de cables que se conectan a la RAMPS 1.4 o a la fuente de alimentación provoca un gran desorden y descontrol de éstos. La organización del cableado de los motores de los 3 ejes y de los endstops no es tan imprescindible como la del extrusor (termistor, alimentación motora, ventilador y alimentación hotend). El constante movimiento del conjunto durante la impresión obliga a que ningún cable quede suelto o se enrede. La solución más económica que puede aplicarse es el uso de **portacables elásticos de plástico**. Así se podrán agrupar y proteger conjuntos de cables y diferenciarlos del resto.

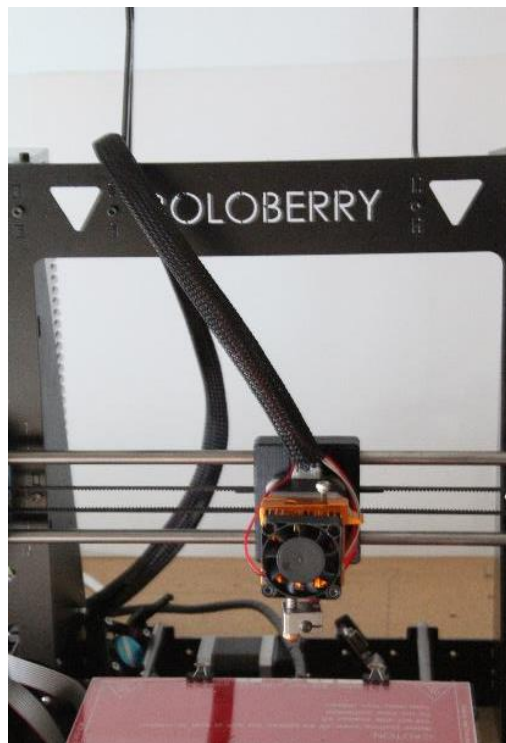


Ilustración 39: Portacables flexible para el conjunto de cables del extrusor.

Adicionalmente, se ha decidido que el cableado de los motores también quede protegido por portacables flexibles.

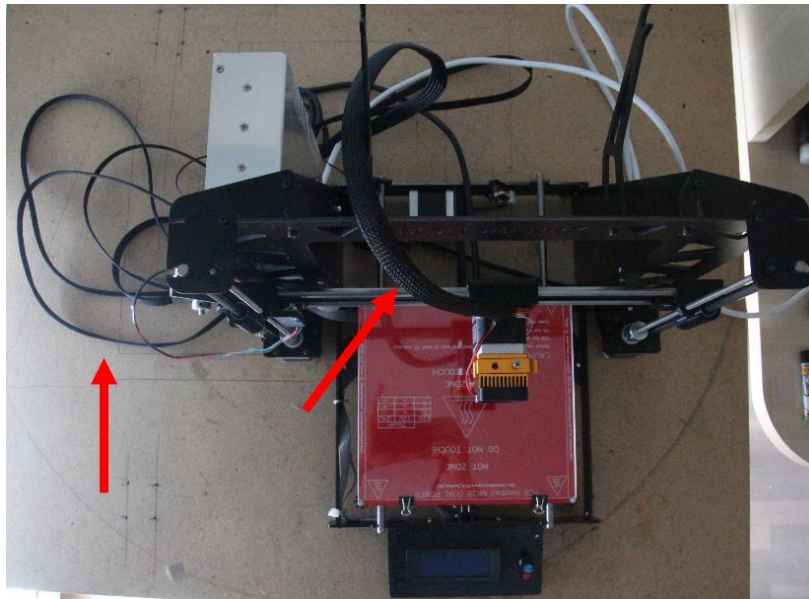


Ilustración 40: Portacables flexible para cableado del extrusor y de los motores.

7.2.4. Acople con interruptor para encendido/apagado

Boloberry no aporta una solución para interrumpir la alimentación de la impresora. Es decir, encenderla y apagarla sin tener que desenchufarla. Por eso mismo, se ha ideado como solución rápida y cómoda añadir un **acople con interruptor I/O** al adaptador del enchufe. Así, siempre que quiera apagarse la impresora, se podrá hacer únicamente presionando el mencionado interruptor.



Nota: más adelante se contempla la posibilidad que en vez de usar el anterior acople, el interruptor de encendido/apagado forme parte de la carcasa que proteja la electrónica.

7.2.5. Punteras huecas aisladas para cables

Una de las mejoras indispensables era ofrecer mayor protección en los extremos de cobre de los cables sin adaptador que conectan la fuente de alimentación a la Ramps y a la corriente. En un futuro y con el uso de la impresora, podrían deshilacharse, malgastarse o provocar un mal contacto. La mejor forma para prevenirlo, así como también ajustar mejor los cables a los adaptadores, era mediante el uso de **punteras huecas aisladas**.



Ilustración 41: Punteras huecas aisladas. Fuente: manomano.es

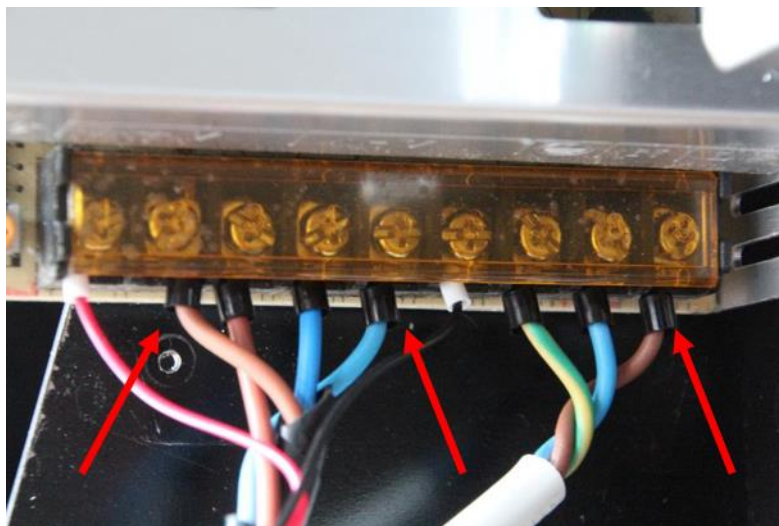


Ilustración 42: Mejora de protección del extremo de los cables mediante punteras huecas aisladas.

El otro extremo de los cables que se ajusta al adaptador verde de la Ramps también tiene puntera. También se ha optado por añadirlos en el cableado del ventilador de la electrónica que se conecta a la fuente de alimentación.

8. Presupuesto

La tabla que sucede muestra el desglose de costes de la realización del proyecto, diferenciando por un lado los relacionados con la mano de obra o desarrollo del proyecto y por otro lado los costes de inversión.

El coste por hora que percibirá el autor del proyecto por la realización de éste es de 12 €/h. El tiempo destinado en la realización de cada actividad se obtiene del tiempo real empleado (Tabla 7).

Por otro lado, los costes debidos a la implementación de mejoras y reparación de problemas quedan reflejados en la tabla 8 junto con el coste total en honorarios.

Actividad	Tiempo requerido [h]	Coste [€/h]	Total [€]
Project Charter	10	12	120
Introducción	7	12	84
Estado del arte	10	12	120
Selección del kit de impresora	8	12	96
Introducción a la impresión 3D	35	12	420
Ensamblado de la impresora	53	12	636
Calibrado y nivelaje	5	12	60
Manual de montaje de impresora	74	12	888
Introducción a Cura	10	12	120
Configuración de la impresora 3D	8	12	96
Riesgos asociados	4	12	48
Primeras impresiones	52	12	624
Idear mejoras y aplicación	35	12	420
Errores hallados y solución	42	12	504
Conclusiones	4	12	48
Líneas futuras	3	12	36
Presupuesto	2	12	24
Revisión final	6	12	72
	368	-	4416

Tabla 7: Costes totales de inversión

Costes de inversión	
	Coste total [€]
Directos - Honorarios	4416
Impresora Prusa P3 Steel PRO	453
Filamento ABS	20
Fallo electrónico - nuevo Arduino	12
Mejoras aplicadas - TOTAL	33
	4934

9. Conclusiones

En términos generales puede decirse que todos los objetivos propuestos al inicio del proyecto han sido cumplidos con éxito. Algunos puntos ocasionaron más percances que otros, siendo el estudio bibliográfico de los cuatro primeros puntos el más ligero, aunque extenso.

En primer lugar, el montaje de la impresora llevó más tiempo del esperado por dos motivos claros: el redactado y fotografiado exhaustivos de cada uno de los pasos que se hacían en un cuaderno y, por otro lado, los problemas de montaje encontrados (citados en el apartado 7.1). Gran parte de las dudas acontecidas fueron debidas a la electrónica, específicamente a la regulación de la tensión de los stepper drivers.

El manual de montaje se ha elaborado partiendo de una buena estética basada en una galería de estilos visualmente agradable y con un elevado número de imágenes de soporte. Para garantizar al futuro lector cualquier tipo de vacilación o duda, a lo largo del manual se han incorporado advertencias y comentarios (en forma de recuadro) basados en los problemas hallados por el propio autor. Gracias a ello, la guía podría catalogarse como robusta y bien organizada.

Sin embargo, allí donde han surgido mayores contratiempos ha sido en la puesta en marcha de la impresora y en la realización de la primera impresión. El motivo es sencillo: difícilmente un kit de impresora es capaz de imprimir por primera vez sin hallar problemas. Muchos foros de internet e incluso el propio fabricante aconsejan acerca de las preparaciones iniciales antes de arrancar el sistema. De todos modos, cada usuario monta y prepara su impresora con sus propios medios y los errores, aun difíciles de detectar, son únicos para cada caso. Por otro lado, la falta de experiencia con esta tecnología ha llevado a reincidir en ciertos fallos de impresión y montaje.

Finalmente, las mejoras implementadas no han excedido el presupuesto fijado para éstas de 35 euros. Se deja para proyectos futuros el desarrollo de otras más elaboradas y complejas (véase Líneas futuras). Por el momento y cumpliendo los requisitos establecidos, todas ellas solucionan algún problema encontrado en el montaje o bien son imprescindibles para una mejor organización de los componentes de la impresora.

En conclusión, aun habiendo cumplido con creces los objetivos propuestos, a excepción de imprimir una pieza con acabado óptimo, todavía queda un largo recorrido para poder dominar las impresiones perfectamente. Llegados a este punto, se espera que los errores debidos a un mal montaje sean casi inexistentes, mientras que no podrán erradicarse los fallos de impresión hasta que se haya ganado mayor soltura y manejo con la impresora y con Cura.

10. Líneas futuras

Este proyecto puede continuarse siguiendo varias líneas dependiendo del fin deseado.

Una de ellas podría ser la edición del manual de montaje siguiendo un estilo tipo cuaderno más visual y estético. No sería necesario hacer cambios en la información o su organización. Únicamente debería emplearse un software de edición de texto e imagen diseñado para crear documentos de tipo panfleto a doble página. Esta idea sería útil si por algún motivo se quisiera añadir el manual de montaje elaborado en este estudio como recurso del kit de impresora de Boloberry.

Por otro lado, una de las mayores ventajas que ofrece un kit de impresora como la Prusa P3 Steel Pro es que es de tipo modular y no cerrado. Sus componentes pueden ser modificados y admite mejoras o nuevas funcionalidades. Y, según la funcionalidad aplicada, redefinir parte del código de control de la impresora. Algunas propuestas de mejora podrían ser:

- *Añadir un segundo extrusor* – Permitiría imprimir piezas de mayor dificultad e incluso combinar distintos colores y materiales en un mismo proyecto sin tener que parar la impresión.
- *Cambiar la base de impresión a una de mayor tamaño* – Ofrecería un mayor volumen de impresión para proyectos más ambiciosos.
- *Pantalla LCD táctil y con más pulgadas* – Dispondría de una interfaz más estética. La navegación por los menús sería más intuitiva y cómoda.
- *Conexión impresora – PC mediante WiFi* – Con un módulo WiFi para pantalla se podrían enviar los archivos G-CODE de un dispositivo a otro sin necesidad de tarjeta SD. Permitiría enviar la orden de impresión remotamente.
- *Caja protectora para la electrónica* – Para no dejar al descubierto el Arduino + Ramps, se puede diseñar e imprimir en 3D una caja protectora que a su vez organice los cables.
- *Substitución de las piezas impresas del eje X* – dichas piezas son bastante inestables e imperfectas. Si se substituyeran por otras de aluminio, se ganaría en longevidad.
- *Mejorar el sistema para tensar las correas de los ejes X e Y.*
- *Trabajar con nuevos materiales* – como por ejemplo Filaflex o compuestos basados en aluminio. Podrían estudiarse las ventajas que ofrece trabajar con ellos y las consideraciones necesarios para su manejo.

En tercer lugar, cuantas más impresiones se realicen, mayor conocimiento del software de laminación se tendrá. Para usuarios experimentados, se plantea la posibilidad de probar nuevos softwares de laminación como Slic3r o sino descubrir con mayor detalle muchas de los ajustes de impresión ocultos en Cura.

Finalmente, una vía de estudio muy amplia y con mucha proyección sería adentrarse en el análisis del firmware Marlin y redefinir parte del código para que aporte nuevas funcionalidades o refuerce algunas ya existentes. Por ejemplo, podría desarrollarse funciones o eventos que manejasen componentes adicionales de la impresora como un segundo extrusor, un refrigerador de capa o una pantalla LCD táctil.

Bibliografía

- [1] M. Alberó Puchal, "Proyecto Final De Grado," Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [2] "Manufacturing & innovation special report. A third industrial revolution," *Econ.*, p. 47, 2012.
- [3] "Cómo imprimir un órgano de recambio." [Online]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/bioimpresoras-3d-asi-se-imprimen-organos-repuesto_12515. [Accessed: 19-Mar-2019].
- [4] O. Thabit *et al.*, "3D Printing in medicine of congenital heart diseases," *3D Print. Med.*, p. 12, 2016.
- [5] F. Jia, "Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study," *Technol. Forecast.*, vol. 102, p. 202, 2016.
- [6] M. Berchon and B. Luyt, *La impresión 3D*, 1st ed. 2016.
- [7] T. Koslow, "Anet A8: la impresora 3D más popular de otoño de 2018," *All3DP*, 2018. [Online]. Available: <https://all3dp.com/es/1/anet-a8-impresora-3d-casera-analisis-diy-kit/>. [Accessed: 01-May-2019].
- [8] Dagoma, "Impresora Dagoma Disco Ultimate." [Online]. Available: <https://dagoma.fr/presentation/disco-ultimate.html>. [Accessed: 01-May-2019].
- [9] T. Koslow, "Creality Ender 3: la mejor impresora por menos de 200€," *All3DP*, 2019. [Online]. Available: <https://all3dp.com/es/1/creality-ender-3-impresora-3d-analisis/>. [Accessed: 01-May-2019].
- [10] R. Morales, "Crean una impresora capaz de autoreplicarse," 2008. [Online]. Available: https://www.tendencias21.net/Crean-una-impresora-3D-capaz-de-autoreplicarse_a2199.html. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [11] Filament2print.com, "Tipos de extrusores 3D y HotEnd," 2018. [Online]. Available: https://filament2print.com/es/blog/36_tipos-extrusores-y-hotend.html. [Accessed: 03-May-2019].
- [12] MarlinFirmware, "What is Marlin? | Marlin Firmware." [Online]. Available: <http://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [13] Ultimaker.com, "An overview of the Ultimaker Cura interface," *Ultimaker resources*. [Online]. Available: <https://ultimaker.com/en/resources/51947-interface-overview>. [Accessed: 23-May-2019].

- [14] R. Diosdado, "Manual de CURA," *Zona Maker*. [Online]. Available: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/software-imp3d/manual-de-cura>. [Accessed: 23-May-2019].
- [15] Ultimaker.com, "An overview of the Ultimaker Cura interface.," *Ultimaker resources*. [Online]. Available: <https://ultimaker.com/en/resources/51947-interface-overview>. [Accessed: 23-May-2019].
- [16] Simplify3D.com, "Print quality troubleshooting guide." [Online]. Available: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>.
- [17] BQ, "Impresora 3D BQ Hephestos 2 | BQ." [Online]. Available: <https://www.bq.com/es/hephestos-2>. [Accessed: 01-May-2019].
- [18] 3Dfils.com, "Extrusión directa vs extrusión bowden," *Guías impresión 3D*, 2018. [Online]. Available: https://www.3dfils.com/es/blog/18_directaobowden. [Accessed: 03-May-2019].
- [19] R. Casas del Castillo and F. J. Carrillo Rosúa, "Churros e impresión 3D," *Granada Hoy*, Granada, p. 1, 10-May-2016.
- [20] C. E. Barreno Romero and G. O. Vaca Morales, "Construcción de una impresora 3D para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de modelado por deposición fundida (MDF)," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
- [21] D. Armada Pita, "Desarrollo de impresora 3D open-source: propuesta e implementación de nuevas dimensiones y mejoras estructurales," Universidad Da Coruña, 2015.
- [22] tublogen3D.com, "Extrusores - El Componente Clave de la Impresora 3D," 2017. [Online]. Available: <https://tublogen3d.com/impresoras-3d/extrusores/>. [Accessed: 03-May-2019].
- [23] Trdimension, "Materiales de impresión 3D ABS-PLA-ALUMIDE-POLIAMIDA | TRD," 2017. [Online]. Available: <https://www.trdimension.com/materiales-impresion3d>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [24] J. Bauer, *Impresión 3D. Introducción al mundo de la impresión 3D*, 1st ed. 2015.
- [25] EDDM, "FUSED DEPOSITION MODELING FDM," *Ingenius Blog*, 2017. [Online]. Available: <https://eddm.es/blog-ingenius/fused-deposition-modeling-fdm/>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [26] A. Madrid Vicente, *Tecnología de la impresión 3D; La fábrica del futuro.*, 1st ed. Madrid, 2017.
- [27] Silicon, "Impresión 3D: Qué materiales usar y dónde comprarlos | Silicon," *Actualidad TI*, 2013. [Online]. Available: <https://www.silicon.es/impresion-3d-que-materiales-usar-y-donde-comprarlos-50135>. [Accessed: 24-Mar-2019].

12. Anexos

12.1. ANEXO 1 - Instalación y configuración de Cura

Este apartado explica el proceso de descarga e instalación de Ultimaker Cura así como también las principales funcionalidades del programa (incluyendo una introducción de la interfaz). Dicho software permite gestionar las propiedades de impresión, controlar la impresora cuando la pieza se está imprimiendo y previsualizar en la interfaz gráfica el resultado del laminado. Sin lugar a duda, también prepara el archivo STL para la impresión (conversión a G-Code).

Cura no requiere de requisitos del sistema muy complejos. Cualquier ordenador con Windows Vista o superior, MAC OSX 10.7 o superior o Ubuntu 14.04 de 64bits es suficiente. La tarjeta gráfica debe ser compatible con OpenGL 2 y el procesador Intel Core 3 o superior. A parte, se aconseja un mínimo de 4Gb de memoria RAM.

DESCARGA E INSTALACIÓN

Sin más dilación, el enlace para descargar Cura es el siguiente. Para disponer de las últimas modificaciones, se recomienda hacerse con la última versión (Ultimaker Cura 4.0).

[Enlace descarga Ultimaker Cura 4.0](#)

Una vez descargado, los pasos a seguir para un ordenador con SO Windows son los siguientes:

1. Ejecute el asistente de instalación **Ultimaker_Cura-4.0.0-win64.exe**.
2. En la ventana emergente, haga clic en **Siguiente**.



Ilustración 43: Ventana emergente asistente de instalación Cura

3. Acepte el acuerdo de licencia y pase al siguiente paso.
4. Para evitar complicaciones, guarde los archivos a instalar en el directorio propuesto por defecto.
5. En la ventana “Elegir Carpeta de Menú de inicio”, vaya directamente a siguiente. De este modo, creará un enlace directo en el escritorio.
6. En “Selección de Componentes”, puede seleccionar que componentes deben instalarse. Se recomienda que por lo menos Cura pueda abrir archivos STL. Seguidamente, haga clic en **Instalar**.

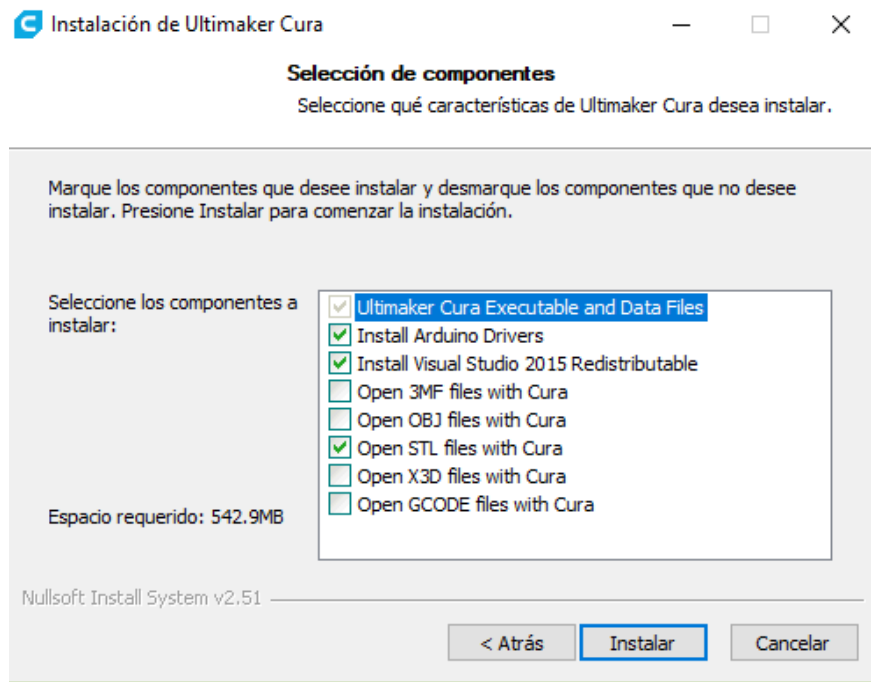


Ilustración 44: Ventana selección de componentes del asistente de instalación de Cura

7. El proceso de instalación puede llevar unos minutos.
8. Al completar el asistente de instalación, cierre la ventana permitiendo que Cura se ejecute.

Una vez Cura se haya instalado correctamente y haya ejecutado el programa por primera vez, el software pedirá al usuario que le proporcione información básica del modelo de impresora con la que usualmente trabajará. Posteriormente, podrá modificar y añadir parámetros no requeridos en este primer paso.

En este caso, como se trabaja con una impresora Prusa P3 Steel PRO basada en el proyecto de Prusa i3, deberá escogerse este modelo entre el listado proporcionado. Para ello, en la primera ventana emergente, vaya a Other y busque "Prusa i3". El programa cargará las características predefinidas del modelo de impresora (volumen de impresión, cama caliente, diámetro de la boquilla, etc.)

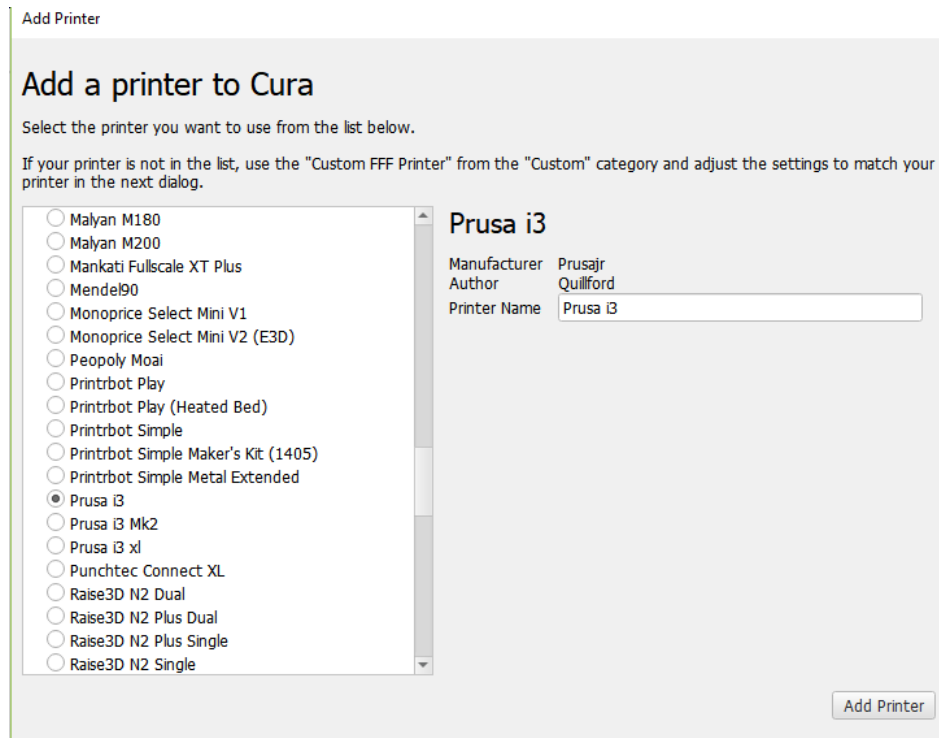


Ilustración 45: Menú de añadir impresora en Cura

INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz de Cura es sencilla e intuitiva. En el centro de la misma aparece un simulador del volumen de impresión que, siempre que no haya ninguna pieza cargada, se muestra vacío.

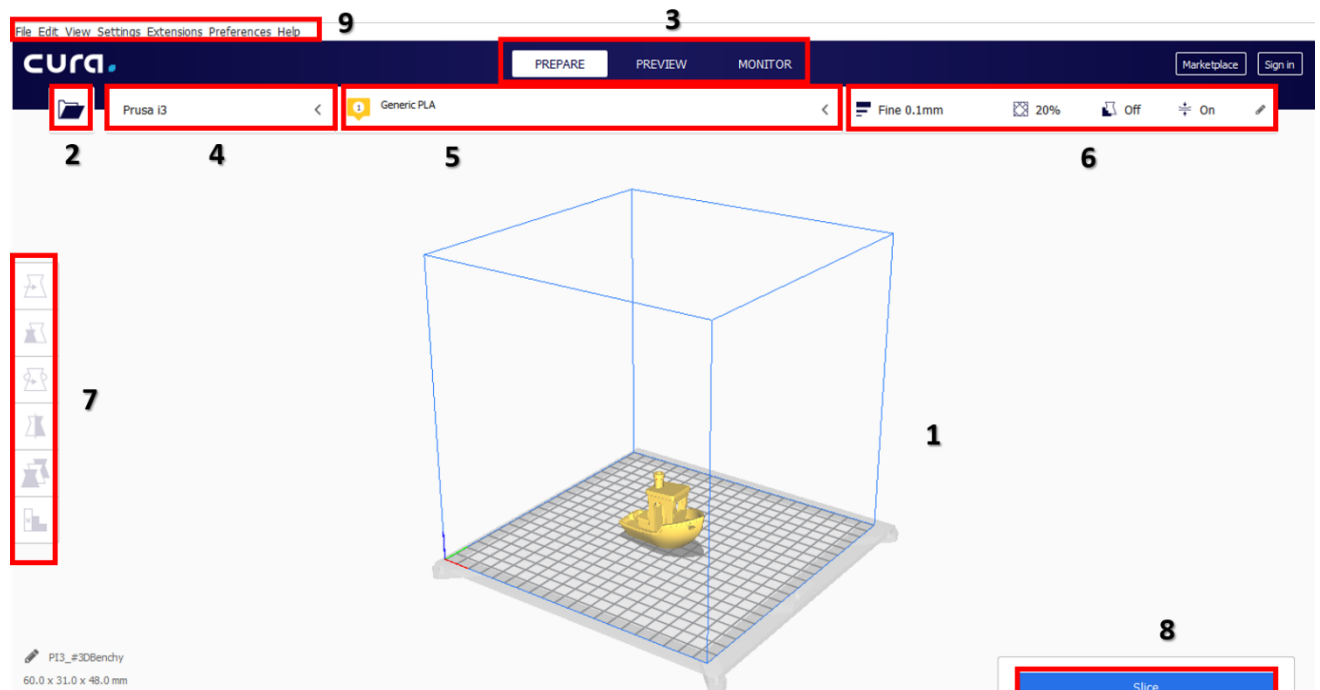


Ilustración 46: Interfaz principal de Ultimaker Cura (Preparar)

La anterior imagen muestra la distribución de los elementos de la interfaz de Cura cuando un proyecto en 3D (STL) ha sido abierto. En la siguiente lista se citan cada uno de los recuadros rojos señalados y una breve explicación de éstos [13].

- 1) **Volumen de impresión.** Se ajusta al modelo de impresora seleccionado, por lo que toma las dimensiones máximas de impresión en los 3 ejes cartesianos. Cuando se abre un proyecto, la figura se ubica dentro del volumen a escala real.
- 2) **Abrir archivo.** Para abrir un archivo 3D existente ya sea desde el disco local o cualquier otra ruta.
- 3) **Barra de preparación, previsualización y supervisión.** Cada uno de estos tres tabs permiten controlar Cura en cada uno de los procesos de impresión. En el caso de la pestaña **Preparar**, se puede configurar todo lo relacionado con el sólido y las distintas propiedades de impresión (soporte, tipo de material, velocidad de impresión, posicionamiento de la pieza...). Una vez establecidas las propiedades de la impresora, de la impresión y del material, y tras laminar el modelo, Cura lleva al usuario a la pestaña de **Vista Previa** donde puede observarse el resultado del laminado, el soporte creado y la posición del extrusor en cada instante, entre otros.

Por último, la tab **Supervisar** únicamente está disponible cuando la impresora se conecta mediante cable USB o red al ordenador. Permite el control en vivo de los parámetros de impresión durante el propio proceso. También ofrece la posibilidad de mover los motores al antojo del usuario cuando la impresora no está trabajando.

- 4) **Selección de impresora.** Permite seleccionar uno de los modelos de impresora propuestos por Cura o bien configurar las características de un modelo que no se halle en el listado.
- 5) **Selección de material.** Esta pestaña del menú de Preparación proporciona un listado de todos los materiales imprimibles predefinidos por el software. También otorga la posibilidad al usuario de establecer las propiedades de cualquier material. Por ejemplo, la temperatura de extrusión y de la cama caliente para ABS.
- 6) **Ajustes de impresión.** Supone la tab más importante de la ventana de Preparación. Establece los ajustes predeterminados y básicos de impresión para el modelo de impresora seleccionado. Aún así, el usuario es libre de incorporar y redefinir otros ajustes que considere oportunos (p.e. altura de capa, densidad de relleno, soporte, refrigeración, adherencia, etc.). Dependiendo de la experiencia del usuario, puede mostrar más o menos ajustes de impresión.
- 7) **Herramientas de ajuste.** Seleccionando previamente la pieza, se desbloquea la barra de herramientas lateral. Facilita el posicionamiento de la pieza en el volumen de impresión, escalado, rotación, espejo, ajustes de modelo y bloqueador de soporte. Esta sección es de especial interés cuando quiere imprimirse varios sólidos al mismo tiempo.
- 8) **Segmentación/Laminado e información de la impresión.** Una vez el modelo ya está listo para previsualizarse, haciendo clic en este botón Cura procede a laminar la pieza y aplicar todos los ajustes establecidos anteriormente. Como resultado, en la esquina derecha inferior de la interfaz se informa del tiempo total de impresión, la cantidad de material que se empleará y el coste estimado. Lleva directamente a la pantalla de Vista Previa.

- 9) **Barra de menú.** Barra de menú clásica de las aplicaciones Windows. Es un acceso alternativo a muchas de las propiedades y enlaces anteriores.

Una vez la pieza se ha laminado y todo está correcto, en la esquina inferior derecha puede seleccionarse la opción de guardar el archivo en una unidad de memoria (SD) en formato G-Code listo para impresión.

12.2. ANEXO 2 – Menú LCD

Este anexo presenta brevemente pero concisamente el funcionamiento de la pantalla LCD, sus controles y los distintos menús.

Los elementos principales del conjunto de la pantalla son los siguientes:



Ilustración 47: Boceto de los componentes de la pantalla LCD

1. Botón de selección y desplazamiento por menús – Admite giros en ambos sentidos y presionarlo
2. Botón de reset – Al pulsarlo, debe reiniciarse la impresora.
3. LCD display – pantalla para la interfaz de la LCD

Cada vez que se enciende la impresora, Marlin muestra por la pantalla el menú principal. La siguiente imagen explica cada uno de los caracteres mostrados en pantalla.

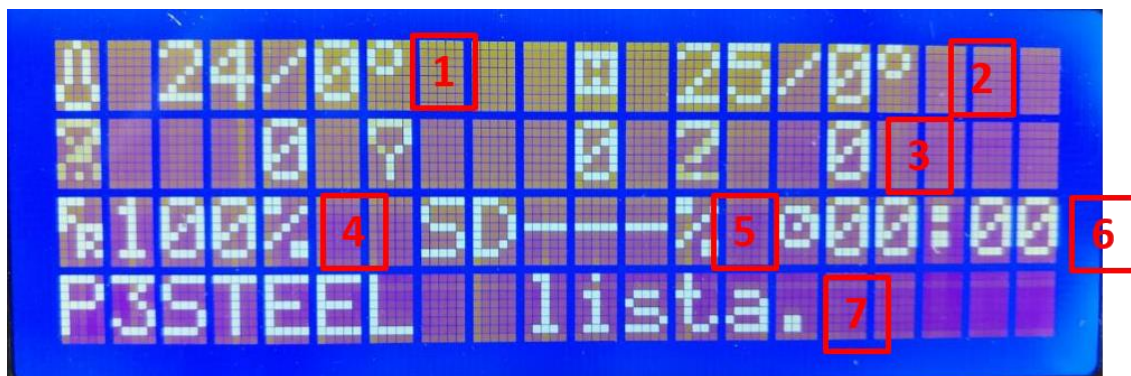


Ilustración 48: Interfaz principal pantalla LCD

1. Temperatura del hotend (real / objetivo)
2. Temperatura de la cama caliente (real / objetivo)
3. Posición cartesiana del extrusor – Para que la impresora conozca la posición del extrusor, primero debe haber hecho un *homing*. En caso contrario, aparecerán signos de interrogación.

4. Velocidad de impresión en %, FEEDRATE – donde 100% es la velocidad fijada por el G-CODE
5. Porcentaje impreso de la geometría cargada
6. Tiempo actual de impresión
7. Estado de la impresora

Si se gira el botón de selección y desplazamiento estando en el menú principal, se podrá controlar la velocidad de impresión (véase que varía el FR).

Por último, se listan cada uno de los menús y submenús que se pueden acceder desde la interfaz principal. Para moverse a través de ellos solamente debe emplearse el botón de selección y desplazamiento. Para entrar en un menú, hágase clic en el botón central. Para subir y bajar, gírese en las agujas del reloj. Entonces, jerárquicamente:

- **Información** – Lleva a la interfaz de inicio
- **Preparar**
 - Menú principal – Lleva al menú de selección anterior
 - Llevar al origen (*Homing*)
 - Ajustar desfases
 - Nivelar plataforma
 - Mover ejes – permite mover manualmente los 3 ejes de la impresora
 - Apagar motores
 - Precalentar PLA – aumenta la temperatura del hotend hasta 190°C
 - Precalentar ABS - aumenta la temperatura del hotend hasta 190°C
 - Cambiar filamento
 - Enfriar – Reduce la temperatura del hotend y la cama hasta el ambiente
- **Control**
 - Menú principal - Lleva al menú de selección anterior
 - Temperatura
 - Movimiento
 - Filamento
 - Guardar memoria
 - Cargar memoria
 - Restaurar memoria – Ajustes de fábrica
- **SD** – Cuando hay tarjeta SD, despliega todos los archivos G-CODE imprimibles.

Atención, el menú cambia totalmente cuando la impresora está imprimiendo. En ese caso, éste pasa a ser el siguiente:

- **Información** – Retornar a la interfaz principal
- **Ajustar**
 - Velocidad – Cambia la velocidad de impresión
 - Extrusor – Cambia la temperatura de extrusión
 - Cama – Modifica la temperatura de la cama caliente
 - Ventilador – Únicamente útil si se dispone de ventilador de capa
 - Flujo – Fijar el grado de extrusión
 - Cambiar filamento – Detiene la impresora para cambiar el filamento durante la impresión
- **Control**
 - Movimiento
 - Guardar
 - Cargar
 - Restaurar memoria
- **Pausar GCODE** – En caso de querer pausar una impresión para más adelante continuarla
- **Detener GCODE** – Detiene la impresión y la cancela

12.3. ANEXO 3 – Tabla de materiales más empleados

Partiendo del apartado 3.4. “Materiales para impresión”, se presenta en forma de tabla los materiales más comúnmente empleados en impresión 3D. Debe tenerse en cuenta que, dependiendo del fabricante, la nomenclatura puede variar. Del mismo modo, el listado aportado solo muestra un reducido número de los materiales utilizados actualmente.

Tabla 8: Resumen de los materiales más empleados en impresión 3D.

	Descripción	Propiedades	Comentarios
PLÁSTICOS			
ABS	<i>Acrilonitrilo butadieno estireno (termoplástico)</i>	Punto de fusión entre 220 y 250°C. Buenas propiedades mecánicas: rigidez, dureza, estabilidad química. Acabado estético y brillante.	Requiere de cama caliente (se contrae al enfriarse). Común en tecnología FDM. Gran variedad de colores y clases. Principal aplicación: <i>juguetes</i>
PLA	<i>Poliácido láctico (termoplástico)</i>	Funde alrededor de 190°C. Gran velocidad de enfriamiento Diseñado para estar en contacto con alimentos. Económico, rígido, pero propiedades mecánicas reducidas.	Biodegradable y compostable, pero sensible al agua. Variedad de colores (transparente inclusive) Más difícil de manipular que el ABS. No requiere de cama caliente. Común en tecnología FDM
HIPS	<i>High impact polystyrene (termoplástico)</i>	Funde alrededor de 230°C. Soluble en D-Limoneno. Propiedades mecánicas muy similares a las del ABS. Buen aislante térmico y eléctrico.	Comúnmente empleado como material de soporte en impresiones de ABS y PLA. Recomendable para piezas técnicas ligeras.
PP	<i>Polipropileno (termoplástico)</i>	Temperatura de fusión: 220°C. Elevada resistencia a la abrasión. Resistencia a fatiga e impacto. Muy sensible a radiación UV.	Ligero, translúcido y reciclable. Elevada dificultad de impresión. Efecto <i>warping</i> muy marcado. Apto para estar en contacto con alimentos.
Nylon y PA	<i>Poliamida (termoplástico)</i>	Temperatura de extrusión estimada: 250°C Propiedades mecánicas muy elevadas comparado con otros plásticos. Buena resistencia al desgaste.	Las poliamidas son comúnmente empleadas en SLS en forma de polvo y son biocompatibles. Requiere de cama caliente (aprox. 70°C) Aplicaciones: carcasas, moldes.
METALES			

Proyecto de montaje de una impresora Prusa i3 y
desarrollo de un manual práctico para impresora

Aluminio	<i>AlSi10Mg (aleación)</i>	Elevada rigidez y resistencia bajo carga. Buena resistencia al calor. Menor densidad que muchos otros metales. No aplicable en tecnología FDM.	Admite técnicas de acabado para mejorar su flexibilidad. Sin proceso de acabado, superficie rugosa. Aplicación: sectores automoción y aviación.
OTROS			
Madera	<i>Material orgánico</i>	Temperatura de impresión: 190 a 230°C. Acabado elegante. Propiedades mecánicas similares a las de la madera y polímeros.	Generalmente empleado en FDM. Combinación entre madera reciclada y polímeros (ayuda a la adherencia). Admite técnicas de acabado.
Alumide	<i>Poliamida + Aluminio</i>	Solidez y flexibilidad equilibradas. Mayor resistencia al calor que muchos plásticos (hasta 172°C). Requiere de proceso de acabado final.	Se puede trabajar por FDM o SLS. Estéticamente parecido al aluminio. Aplicación: moldes, prototipaje.

12.4. ANEXO 4 – Tabla de ponderación de los kits de impresora

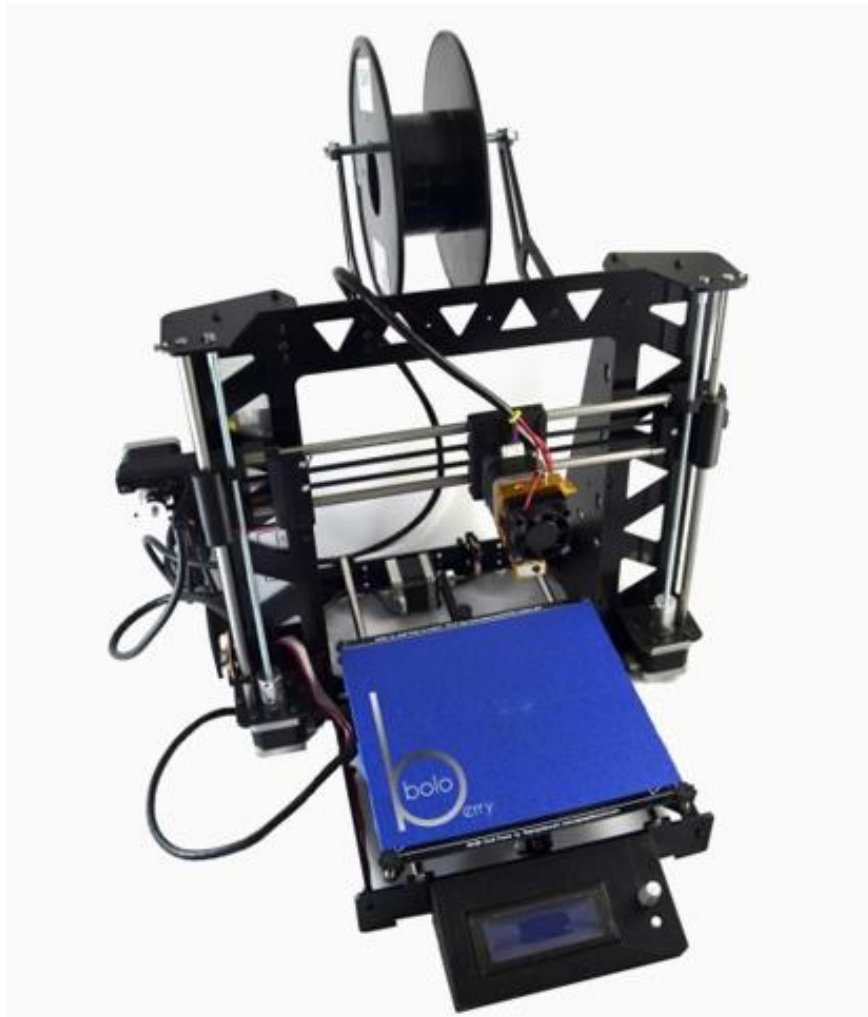
La tabla que sucede fue presentada en el apartado 4.3 Selección del kit de impresora. Está refleja la ponderación y resultado de los 4 modelos de impresora candidatos a montar en este proyecto.

		Modelos de impresora 3D			
Factores	Peso relativo	Anet A8	Prusa P3 Steel PRO	BQ Hephestos 2	Ender 3
<i>Ensamblada / Kit</i>	0,01	5	5	5	5
<i>Precio</i>	0,15	5	3	1	5
<i>Sistema posicionamiento</i>	0,05	5	5	5	5
<i>Volumen de impresión</i>	0,07	4	3	5	4
<i>Materiales imprimibles</i>	0,08	3	4	3	4
<i>Servicio postventa</i>	0,18	2	5	4	3
<i>Calidad de impresión</i>	0,03	3	3	3	2
<i>Material del marco</i>	0,12	2	5	5	4
<i>Comunicación PC - impresora</i>	0,1	4	4	4	4
<i>Hardware</i>	0,06	5	5	4	2
<i>Interfaz de usuario</i>	0,05	2	2	4	2
<i>Dificultad de montaje</i>	0,1	2	4	4	4
Puntuación total		3,26	4,07	3,69	3,75

12.5. ANEXO 5 – Manual de montaje PRUSA P3 Steel PRO

PRUSA P3 STEEL PRO

MANUAL DE MONTAJE



1.	Introducción	3
2.	Referencias del producto	4
3.	Guía de montaje.....	5
3.1.	Estructura.....	5
3.1.1.	Marco	5
3.1.2.	Eje Y	10
3.1.3.	Eje X (parte 1)	15
3.1.4.	Eje Z	19
3.1.5.	Cama caliente	25
3.1.6.	Eje X (parte 2)	29
3.1.7.	Finales de carrera	32
3.2.	Extrusor MK8.....	36
3.3.	Electrónica.....	41
3.3.1.	Preparación fuente de alimentación y Ramps 1.4	42
3.3.2.	Regulación Stepper Drivers DRV8825	45
3.3.3.	Conexionado a Ramps 1.4	46
3.3.4.	Ensamblaje de la electrónica a la estructura	48
3.4.	Pantalla LCD y portafilamento	51
3.4.1.	Pantalla LCD.....	51
3.4.2.	Portafilamento	53
3.5.	Instalación software	55
3.5.1.	Arduino IDE	55
3.5.2.	CURA.....	55
4.	Listado de material.....	57

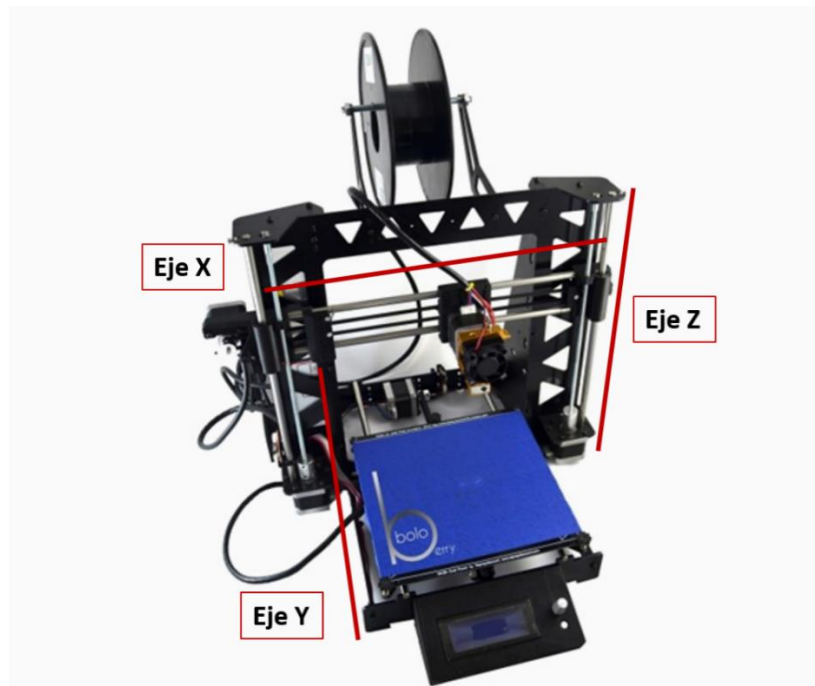
1. Introducción

El siguiente manual presenta una guía de montaje paso por paso de un kit de impresora **Prusa P3 Steel Pro** de *Boloberry*. Éste se divide en cuatro bloques principales, siendo estos: referencias del producto, guía de montaje, problemas comunes y listado de material.

Del mismo modo, a lo largo del manual se ofrecen un seguido de consejos y advertencias para facilitar el montaje de determinados componentes que puedan causar controversia. Se incluyen imágenes explicativas a modo de soporte para cada paso.

La guía de montaje se subdivide en los siguientes bloques principales ordenados: estructura, extrusor MK8, electrónica y pantalla LCD y portafilamento. Un último apartado enseña al usuario cómo descargar Arduino IDE y el programa de laminación CURA.

Se recomienda tener conocimientos básicos en electrónica y electricidad para realizar correctamente la instalación de los componentes eléctricos a la placa base y Ramps.



PRECAUCIONES

Aunque el kit ha sido pensado para que pueda ser ensamblado por cualquier entusiasta e iniciado en el mundo, deben tenerse presente las siguientes indicaciones:

- En el montaje de la estructura, trabajar con una superficie bien nivelada y estable.
- El montaje de los componentes eléctricos a Arduino/Ramps 1.4 debe realizarse desconectado de la fuente de tensión, así como también el proceso de regulación del potenciómetro de los Stepper Drivers.
- Prestar especial atención al orden de los pasos y a la colocación de cada pieza.

2. Referencias del producto

A continuación, se presentan las referencias del producto y las especificaciones técnicas básicas de este:

Referencias	
Nº referencia	IMP00234
<i>Modelo</i>	Prusa P3 Steel PRO
<i>Fabricante</i>	Boloberry
<i>Técnica impresión</i>	FDM
<i>Sistema posicionamiento</i>	Cartesiano (XYZ)

El extrusor MK8 que emplea el kit no está ensamblado.

El material no intrínseco a la impresora 3D no está incluido en el kit. Por eso, se recomienda que antes de proceder al montaje de ésta, se disponga del material adicional necesario.

El tiempo mínimo estimado para el completo montaje del kit es de *7 horas y 30 minutos*.

Véase el apartado “Listado de material” para más información.

3. Guía de montaje

3.1. Estructura

3.1.1. Marco

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xE01 - Soporte derecha estructura
- 1xE02 - Estructura vertical
- 1xE03 - Soporte izquierda estructura
- 2xE04 - Esquinera
- 2xE05 - Travesera base estructura
- 2xE06 - Soporte motor eje Y
- 2xE07 - Soporte motor eje Z
- 2xE08 - Soporte polea dentada
- 4xE09 - Escuadra sujeción eje Z

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tuercas M3: 28
- Tornillos M3x12: 28

MATERIAL ADICIONAL

- Mazo de goma/plástico
- Lima para metal
- Set de llaves Allen

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

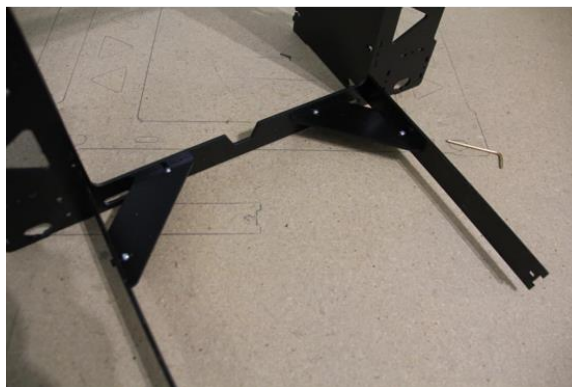
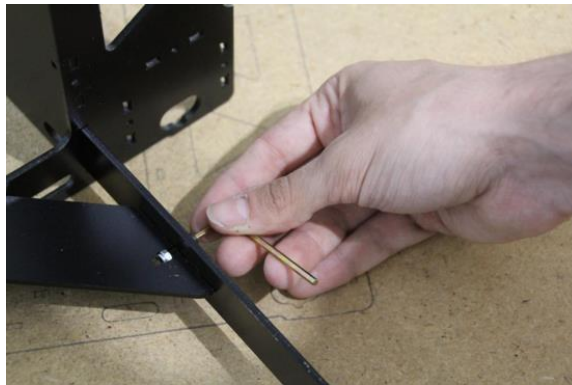
1. Unir las piezas E01 y E03 con el marco E02 con 6 tornillos M3x12 y 6 tuercas M3. Los tornillos se introducen a través de los orificios presentes en las propias chapas de acero.



2. Para ofrecer rigidez al anterior conjunto, añadir dos piezas E04 entre las piezas E01 y E02; y E03 y E02. Emplear 4 tornillos M3x12 y 4 tuercas M3.



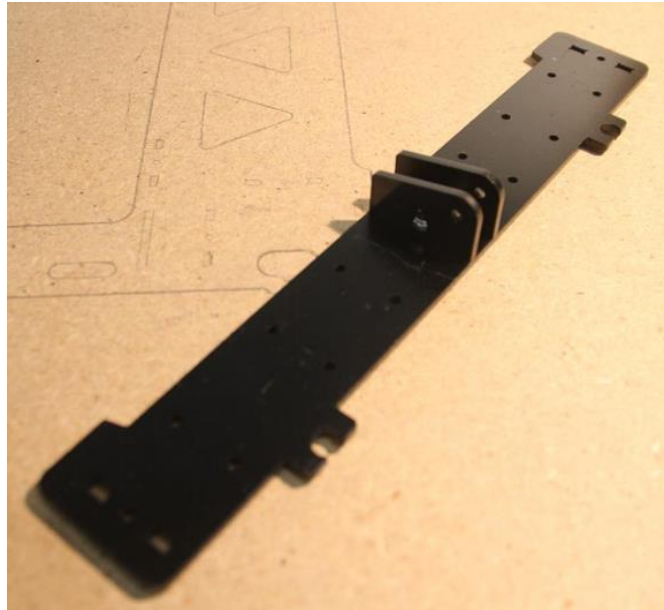
Limar previamente los huecos y aristas de las esquineras, E01 y E03, y del marco E02 para facilitar el acople.



3. Tomar dos piezas E08 y una E05. Cada pieza E08 va unida a E05 mediante 2 tornillos M3x12 y dos tuercas M3.



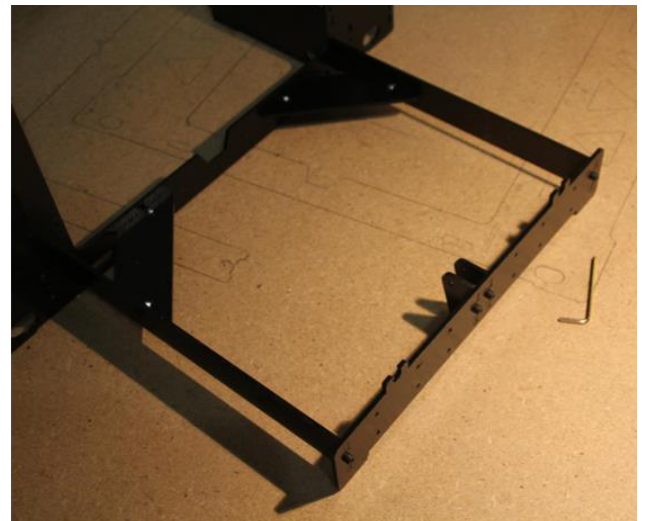
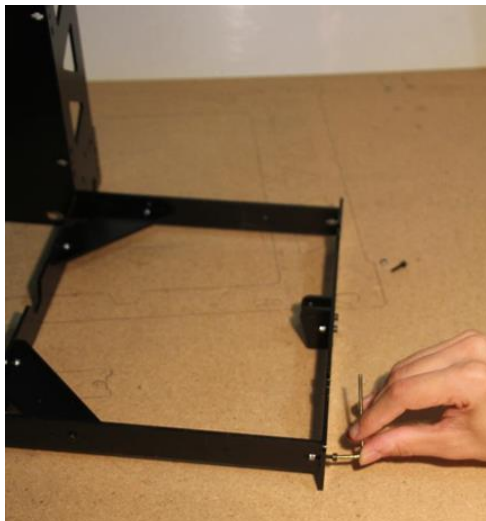
Las piezas E08 deben ser montadas sobre la E05 en una determinada posición. Véase imágenes.



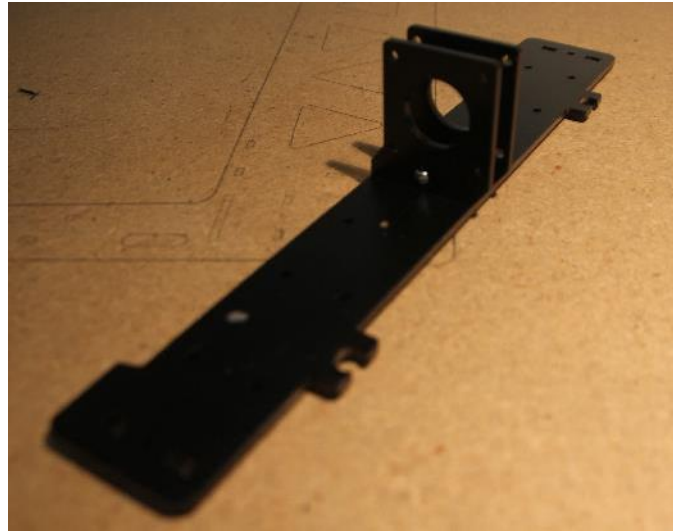
4. Montar el anterior conjunto sobre el resto de la estructura en la parte frontal. Queda perpendicular a las piezas E01 y E03. Ambas piezas E08 van encaradas hacia el interior. Emplear 1 tornillo M3x12 y 1 tuerca M3 en cada lado.



Si es necesario, hacer uso de la maza de goma/plástico para encajar ambos conjuntos antes de atornillarlos a la estructura.



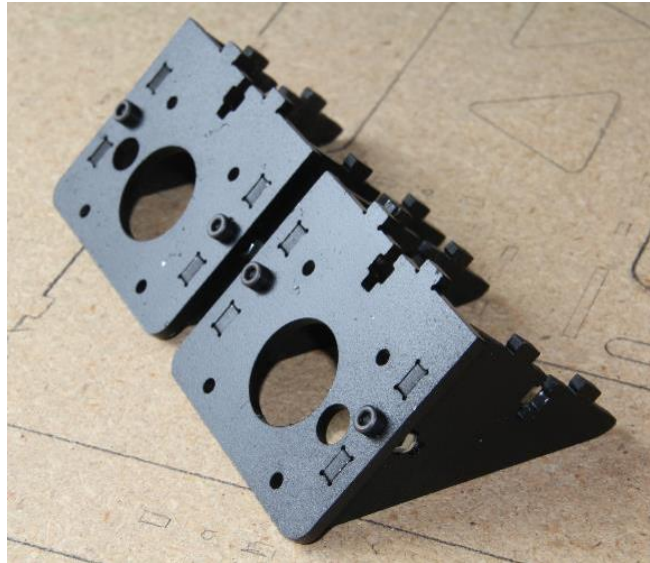
5. Coger dos piezas E06 y la E05 restante. Cada pieza E06 se une a E05 con 2 tornillos M3x12 y dos tuercas M3. Las piezas E06 se deben montar sobre E05 en una posición determinada. Véase imágenes.



6. Del mismo modo que en el paso 4, montar el anterior conjunto sobre el resto de la estructura en su parte trasera. Las piezas E06 deben encararse hacia el interior.



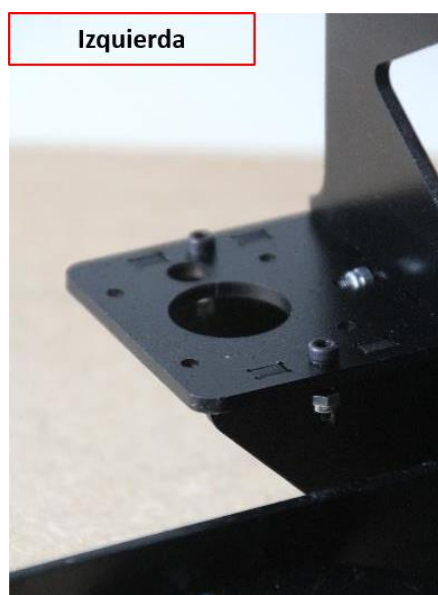
7. A continuación, ajustar dos E09 a una pieza E07 con la ayuda de 3 tornillos M3x12 y 3 tuercas M3. Repetir el proceso de nuevo con otras dos E09 y una E07. Prestar atención a la forma en que se disponen las piezas.



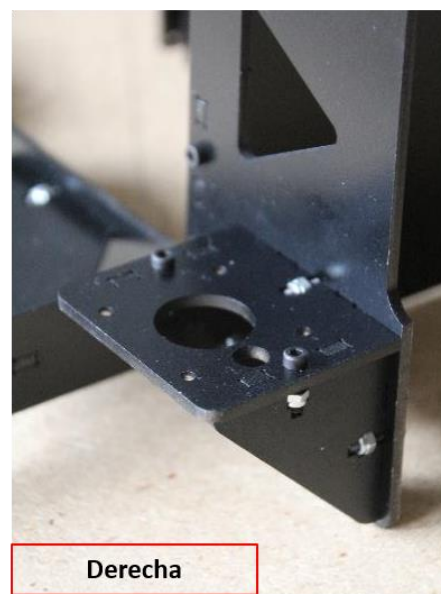
8. Añadir ambos conjuntos anteriores a la estructura. Éstos van colocados a banda y banda de la parte frontal inferior del marco E02.



El agujero de menor diámetro de la pieza E07 debe quedar en ambos casos encarado hacia el exterior. Las varillas lisas del eje Z se acoplarán en éstos.



Izquierda



Derecha

3.1.2. Eje Y

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 4xY12 - Soporte rodamiento
- 4xR13 - Rodamientos LM8UU
- 2xY15 - Varillas Y450 (370mm)
- 1xP16 - Polea GT2
- 1xM17 - Motor Nema 17 (L=46mm)
- 1xY18 - Separador impreso U
- 1xP19 - Polea sincronizadora
- 1xD20 - Correa dentada
- 2xY21 - Sujeción correa eje Y
- 1xY14 - Bandeja

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tuercas M3 autoblocante: 9
- Tuercas M3: 4
- Tornillos M3x20: 5
- Tornillos M3x25: 4
- Tornillos M3x12: 8

MATERIAL ADICIONAL

- Mazo de goma/plástico
- Lima para metal
- Set de llaves Allen
- Set de destornilladores

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Fijar 4 rodamientos LM8UU (R13) a la bandeja Y14 mediante 4 piezas Y12. Un par por rodamiento. Cada pieza Y12 se une a P11 con 2 tornillos M3x12 y 2 tuercas M3 autoblocante.

Los rodamientos quedan ubicados en las 4 ranuras de la bandeja.



Muy probablemente deba limarse las ranuras por donde quedaran posicionados los rodamientos. En caso contrario, las Y12 no quedarán en contacto con la bandeja Y14.



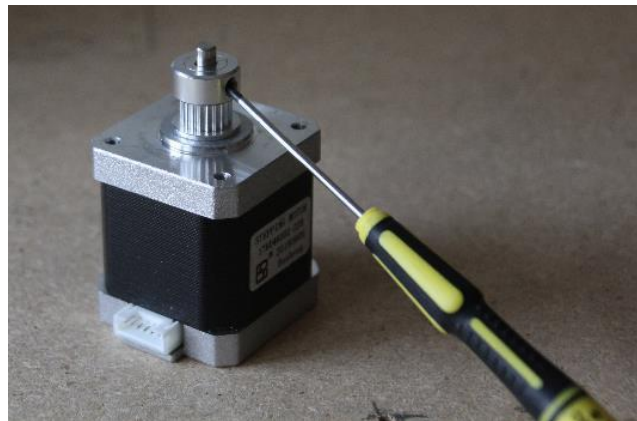
2. Colocar en el centro de la misma cara donde se añadieron los rodamientos LM8UU, las 2 sujeciones de correa para eje Y (Y21). Por el momento, ya que la correa se añadirá más adelante, no es necesario que las piezas queden prietas. Utilizar un par de tornillos M3x25 y tuercas M3 por sujeción.



3. Ajustar a un motor Nema 17 (M17) una polea tipo GT2 (P16). La parte dentada de la polea debe quedar en el extremo superior del eje del motor.



La polea GT2 se ajusta al eje del motor apretando los 2 pequeños tornillos de la propia polea.

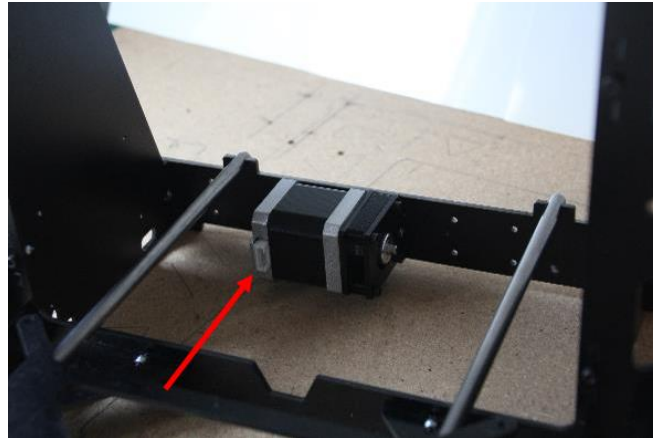


4. Tomar el motor a pasos anterior y atornillarlo a la pieza E06 de la izquierda, añadiendo en medio de ambas piezas E06 el separador impreso (Y18). La U de este último debe enfocarse hacia el interior de la impresora.

Emplear 4 tornillos M3x20 para ensamblar todo el conjunto.



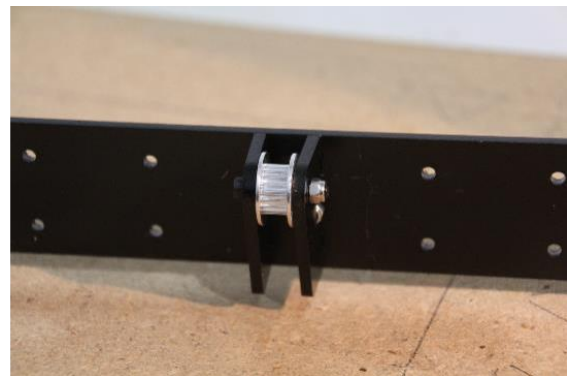
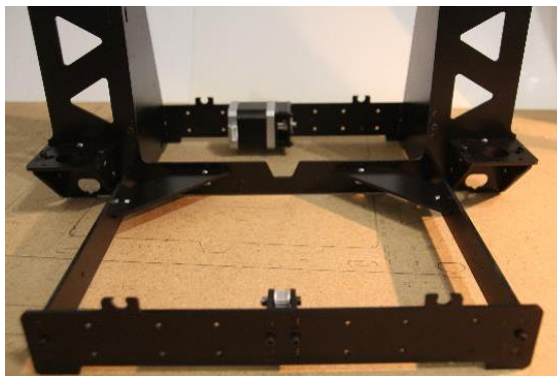
El motor debe quedar colocado de tal modo que la entrada de alimentación mire hacia el interior de la estructura.



5. Disponer entre las piezas E08 una polea sincronizadora (P19). Para fijarla, usar 1 tornillo M3x20 y 1 tuerca M3 autoblocante.



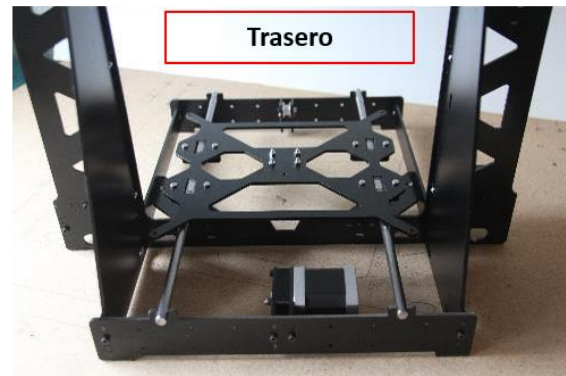
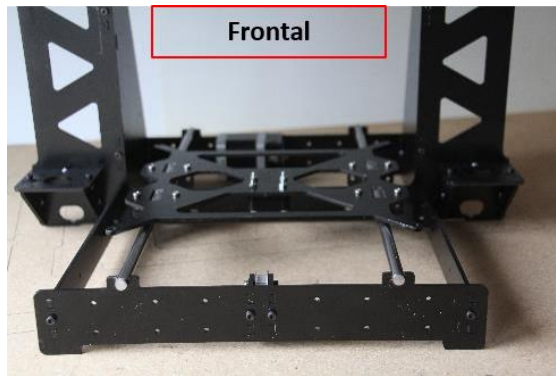
Evitar que las piezas E08 rocen con la correa sincronizadora. Controlarlo con el ajuste del tornillo.



6. Retomar el conjunto de la bandeja Y14 e introducir 2 varillas lisas Y450 de 370mm (Y15) a través de los rodamientos LM8UU. Por otro lado, pasarlas por los orificios de las piezas E05 con la ayuda de una maza de goma. Se recomienda limar los 4 orificios para facilitar el trabajo.

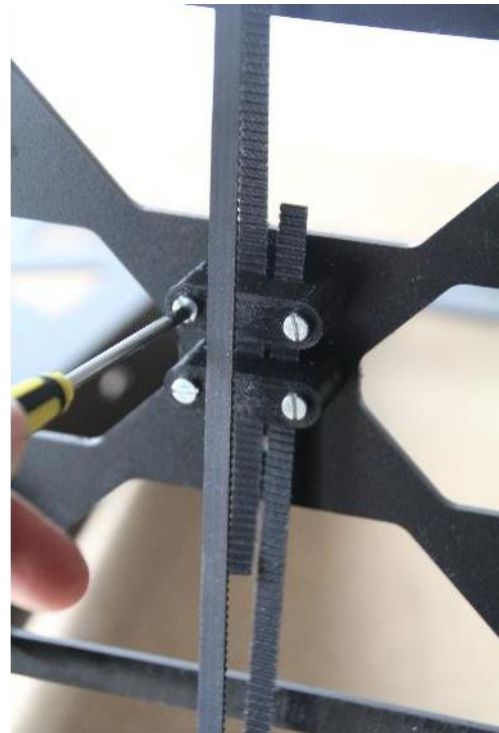
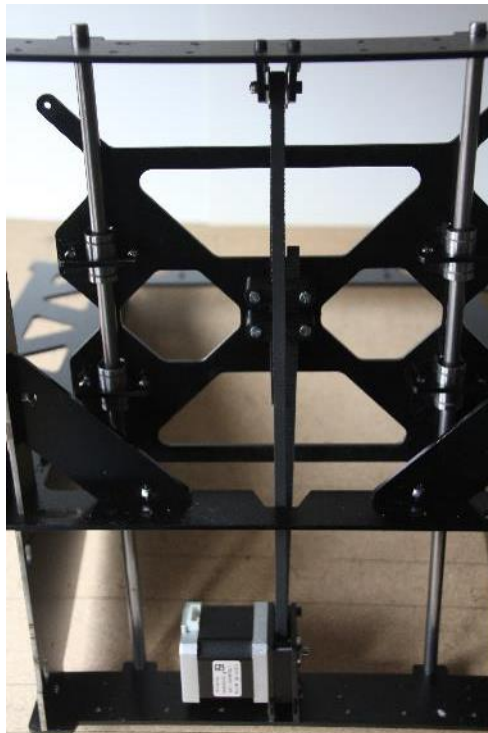


En muchas ocasiones, aún habiendo limado los orificios, puede resultar imposible hacer pasar las varillas. Se recomienda, con extrema precaución, taladrar con broca de 8mm para dar un poco de juego a los orificios.



7. Finalmente, debe pasarse la correa dentada (D20) por la polea sincronizadora (P19) y por la polea GT2 (P16) acoplada al motor.

Primero, pasar la correa por el eje del motor y luego por P19. Fijar ambos extremos de la correa a las sujeciones Y21 del eje Y. Debe asegurarse que queda tensa y bien colocada en las poleas.



3.1.3. Eje X (parte 1)

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xX22 - Soporte impreso motor eje X
- 8xR13 - Rodamientos LM8UU
- 2xX26 - Varillas lisa eje X (390mm)
- 1xP16 - Polea GT2
- 1xX23- *Idler* impreso eje X
- 1xX25 - *Carriage* impreso eje X
- 1xP19 - Polea sincronizadora
- 1xD20 - Correa dentada
- 1xX24 - Tensor impreso eje X

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tuercas M3: 1
- Tuercas M4: 1
- Tornillos M4x30: 1
- Tornillos M3x20: 1
- Tornillos M3x12: 3

MATERIAL ADICIONAL

- Mazo de goma/plástico
- Set de destornilladores
- Set de llaves Allen

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

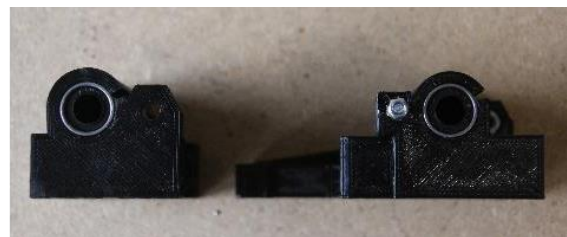
1. En cada una de las piezas Soporte impreso del motor eje X (X22) e *Idler* impreso eje X (X23), colocar dentro de los orificios dos rodamientos LM8UU (R13). Será necesario forzarlos con una maza de goma sin romper las piezas de plástico.

Introducir los rodamientos en los orificios no es sencillo. Para facilitarlos, debe ayudarse con una superficie plana e intentar agrandar el orificio justo en el momento de introducirlos.

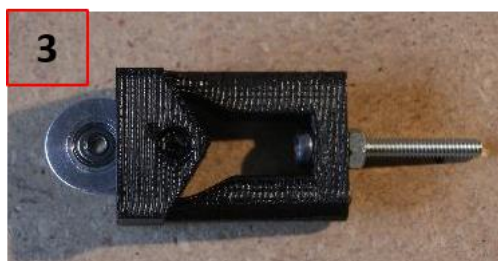
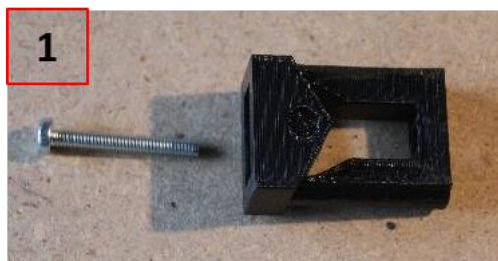


¡Cuidado! Evitar romper las piezas de plástico al forzar los agujeros.



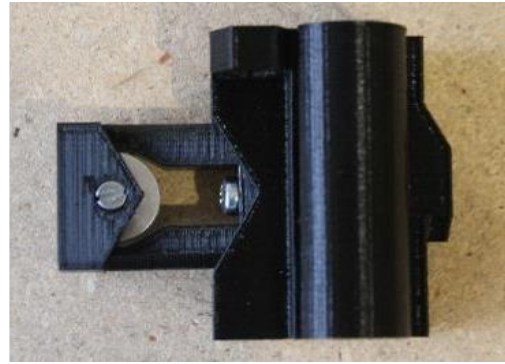
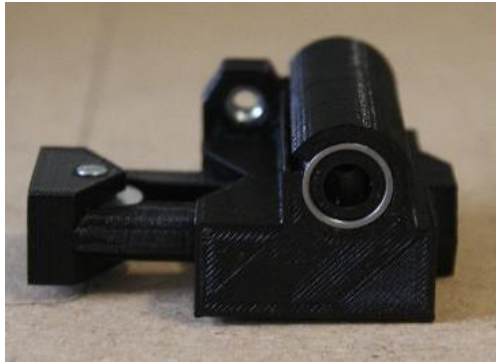


2. Introducir en el interior del Tensor impreso eje X (X24) un tornillo M4x30. Acto seguido, por el agujero de la cara superior de la misma pieza, pasar un tornillo M3x20 por una polea sincronizadora (P19) y atornillarlo a la tuerca M3 del extremo opuesto de X24.



3. Tomar el conjunto del paso anterior y la pieza *Idler* (X23) del primer paso y encajar el primero dentro del segundo a través de la ranura dispuesta para tal fin. La pieza X24 no debe estar del todo encajada en X23. Así, más adelante, se podrá tensar la correa dentada del eje X más fácilmente.

Enroscar una tuerca M4 en el extremo del tornillo M4x30.



4. Mismo procedimiento que en el paso 1. En este caso, deben introducirse 4 rodamiento LM8UU (dos por lado) dentro de los dos cilindros de la pieza *Carriage* impreso eje X (X25). Emplear la misma metodología que en dicho paso anterior para forzar los rodamientos dentro de los agujeros.

A modo de ayuda, lubricar ambos orificios previamente.

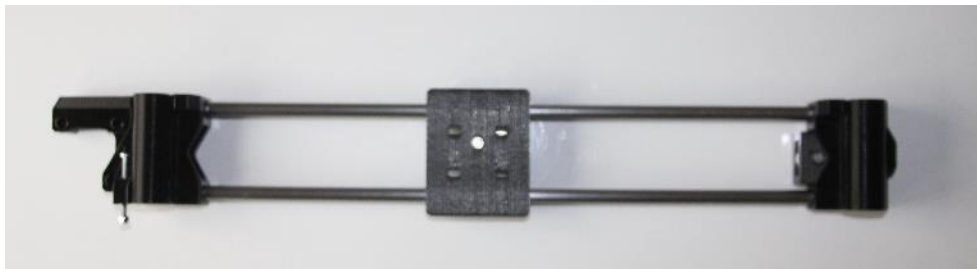


5. Finalmente queda ensamblar las piezas X25, X23 y X22 con las dos varillas lisas de 390mm (X26). Para ello, debe seguirse el siguiente orden.
 - a. Tomar ambas varillas e introducirlas en las ranuras del Soporte impreso del motor eje X (X22) a golpe de maza.



Las varillas deben introducirse en el soporte impreso de motor eje X (X22) tanto como se pueda. Contrariamente, la pieza *Idler* (X23) no debe tener las varillas encajadas hasta su fin. Introducir aprox. 2cm en ambas.

- b. Pasar por los rodamientos del Carriage (X25) las dos varillas. Prestar atención a la colocación de dicha pieza respecto a la anterior.
- c. Cerrar la estructura con *Idler* impreso eje X (X23) a golpe de maza.



3.1.4. Eje Z

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 2xM17 - Motor Nema 17 (L=46mm)
- 2xZ27 - Acoplador 5x5
- 2xZ28 - Varilla lisa eje Z (325mm)
- 2xZ29 - Codo de acero
- 2xZ30 - Varilla roscada M5x300
- 2xZ31 - Guía plástico p/varilla roscada

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tuercas M3 autoblocantes: 4
- Tornillos M3x8: 8
- Tornillos M3x12: 4

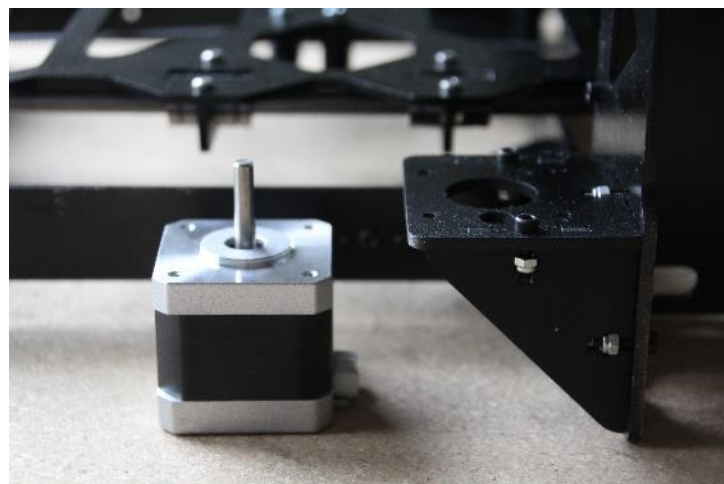
MATERIAL ADICIONAL

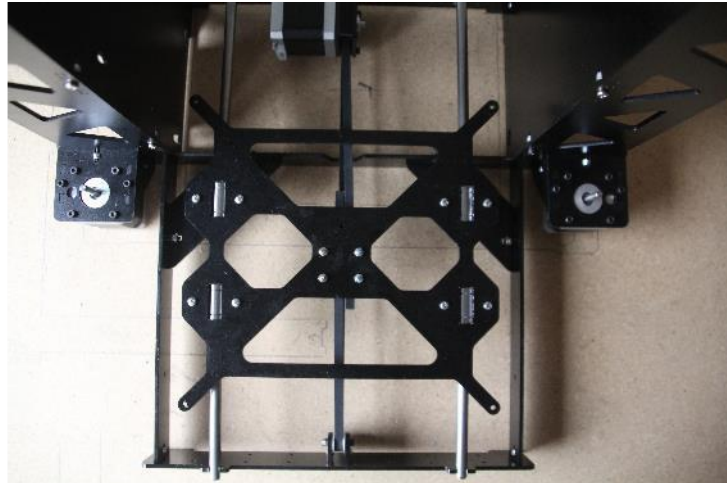
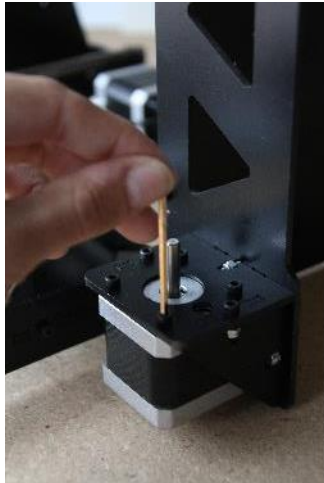
- Mazo de goma/plástico
- Set de llaves Allen
- Set de destornilladores
- Lima para metal

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Tomar las dos varillas lisas Z28 de 325mm y clavarlas con la maza de goma en los orificios de las piezas E07 del marco de la estructura con el mismo diámetro. Si es necesario, limar previamente los agujeros.

Las varillas no deben clavarse y sobrepasar el grosor de las piezas E07.

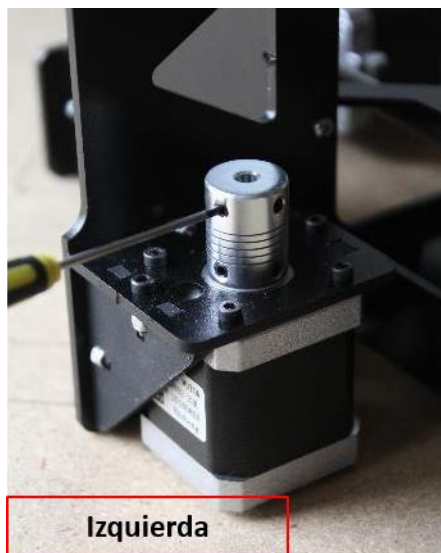




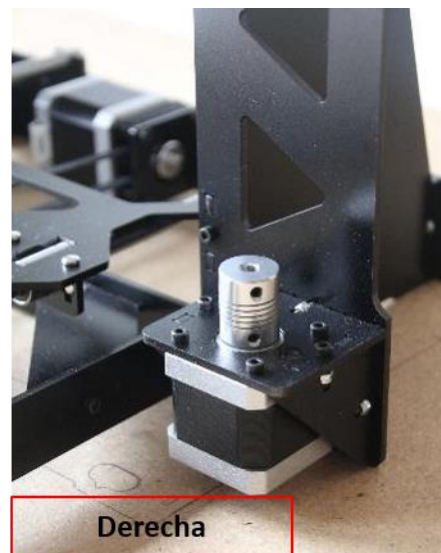
2. Añadir dos motores Nema 17 de 46mm (M17) bajo las piezas E07 del marco de la estructura. Para ello, emplear 4 tornillos M3x8 por cada motor.



Los pines de alimentación de los motores deben quedar mirando hacia atrás, coincidiendo con las ranuras del marco situadas a banda y banda.



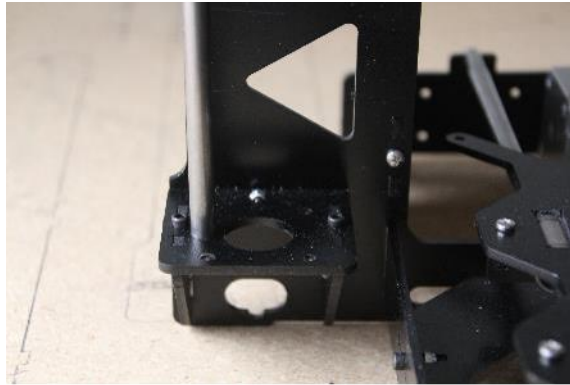
Izquierda



Derecha

3. Ajustar un acoplador 5x5 (Z27) en cada eje de los motores Nema 17.

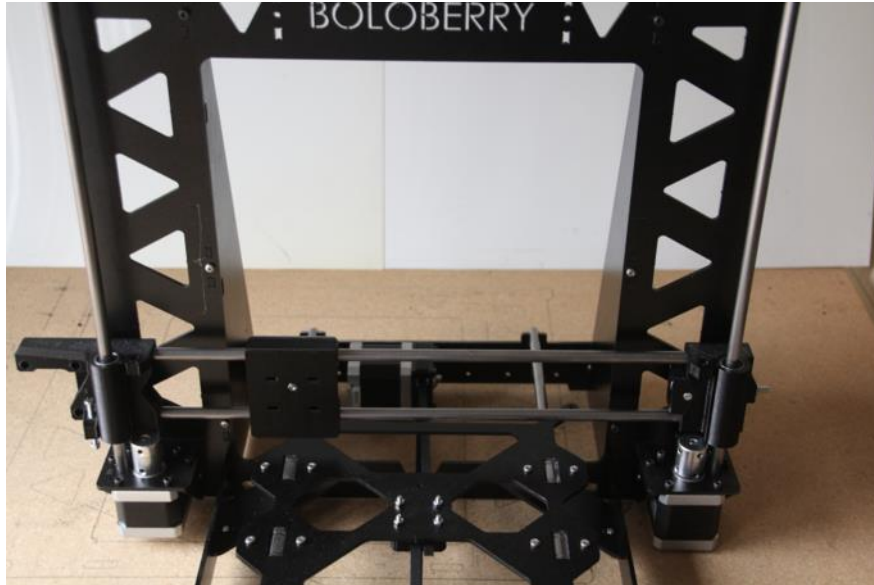
Los acopladores se aprietan al eje atornillando los pequeños tornillos dispuestos radialmente.



4. Retomar el conjunto creado en el paso 5 del apartado Eje X (parte 1). Pasar por los rodamientos de los laterales las varillas lisas del eje Z de 325mm. El Soporte impreso del motor eje X debe quedar en el lado izquierdo.

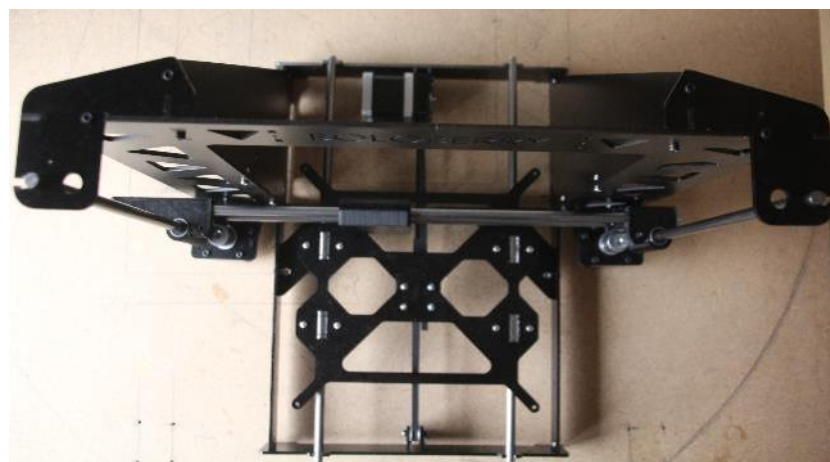
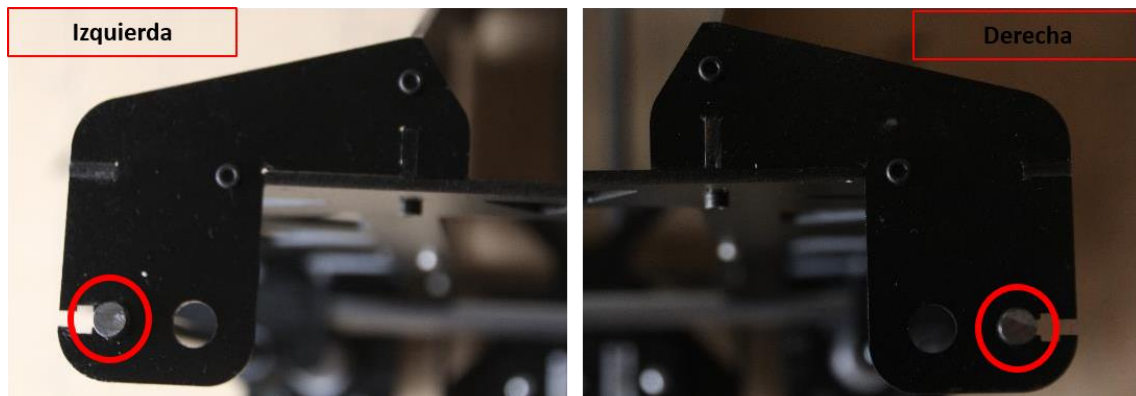


¡MUY IMPORTANTE! Si el conjunto del eje X no puede bajar todo el recorrido de las varillas perpendicularmente sin que éstas se inclinen hacia los lados, el Idler deberá abrirse o cerrarse más dependiendo de las varillas.



5. Colocar los dos codos de acero (Z29) en la parte superior del marco de la estructura, a banda y banda. Las ranuras deben coincidir. Si es necesario, ayudarse de un mazo de goma. Las varillas lisas deben pasar por los agujeros de Z29 de más a los extremos.

Acabar de fijar con 2 tornillos M3x12 y 2 tuercas M3 autoblocantes cada pieza.

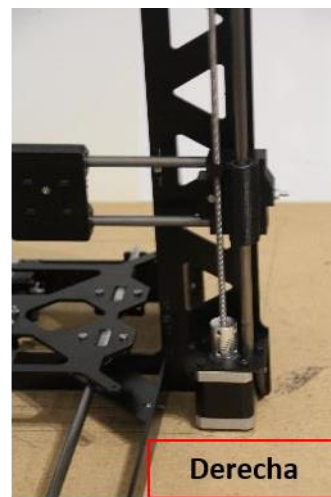
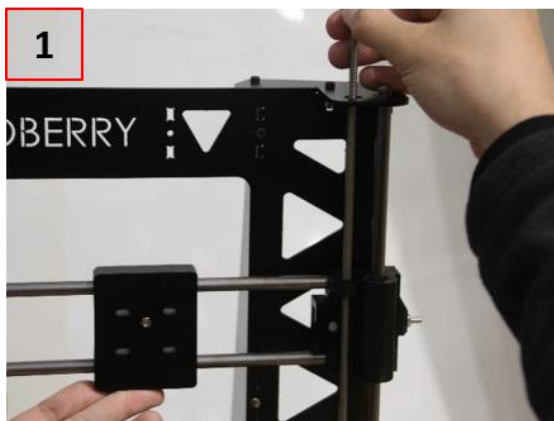


6. Introducir uno de los extremos de las dos varillas roscadas M5x300 (Z30) en las piezas X22 y X23 a través de las tuercas ya dispuestas en éstas. El otro extremo deberá ajustarse a los ejes de los motores mediante los acopladores 5x5.

Quizá será necesario que ambos acopladores deban desajustarse del eje del motor para subirlos levemente y volverlos a apretar. Aproximadamente debe dejarse 0.68cm del cilindro disponible para introducir las varillas roscadas.



Se aconseja impedir que el extremo inferior de la varilla roscada esté en contacto directo con el eje del motor. Ajustar cada varilla con los tornillos inherentes en los acopladores 5x5.



7. Por último, en la parte superior de las varillas roscadas, incrustar dos guías de plástico para varilla roscada en cada lado (Z31) para estabilizar las varillas.



3.1.5. Cama caliente

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xC32 - Base cama caliente 21.5x21.5
- 8xC33 - Muelle 2cm
- 4xC34 - Tuerca M3 con tope impreso
- 1xC38 - Cable con termistor
- 2xC35 - Cable alimentación cama caliente
- 1xC36 - Base de vidrio 20x20
- 4xC37 - Pinza negra tipo clip

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tornillos M3x25: 4

MATERIAL ADICIONAL

- Soldador
- Cinta Kapton
- Estaño
- Set de destornilladores

- ADVERTENCIAS PREVIAS -

- a. Prestar especial atención durante el proceso de soldado. Evitar quemaduras con el soldador. Por lo general, la cama caliente se conecta a 12V de alimentación.
- b. Añadir la cantidad de estaño justa en cada caso, no excederse.
- c. Trabajar en una zona limpia y despejada de material.
- d. Los kits con cama caliente de 20x20cm ya tienen soldados y preparados los cables de alimentación y el termistor. Puede pasarse directamente a la parte 2.

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

PARTE 1 – Soldadura de los cables a la cama caliente

1. Coger dos cables (marrón y azul) de alimentación de la cama caliente (C35) y un cable con termistor (C38). Juntarlos todos con bridas o si es posible mediante un cable corrugado.
2. Soldar el cable marrón (negativo) en los puntos marcados como **2** y **3** de la cama caliente. Si es necesario, pelar el cable para que el filamento de cobre llegue sin problemas a ambos puntos.



Para una alimentación de 12V como la que se empleará, soldar el cable como se ha descrito. En caso trabajar con 24V, soldar el cable marrón únicamente en el punto 3.

3. Del mismo modo, soldar el cable azul en la pestaña con el número 1.

<i>Power</i>		
PIN	12V	24V
1	+	
2	-	+
3	-	-



Para 24V de alimentación, soldar el anterior cable en el espacio 2 en vez del 1.
Seguir la tabla expuesta sobre estas líneas.

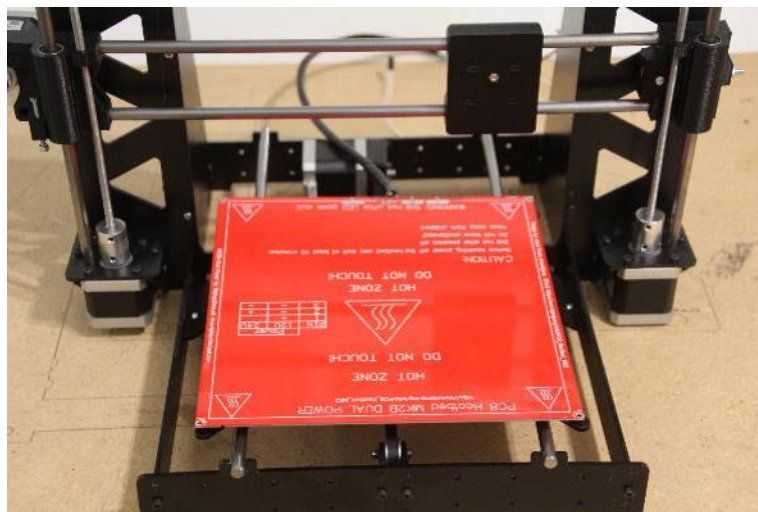


4. Por último, colocar la punta del termistor en el agujero del centro inferior de la cama.
Sujetar el tramo final del cable con cinta **Kapton**.



PARTE 2 – Ensamblaje cama caliente a la bandeja de impresión

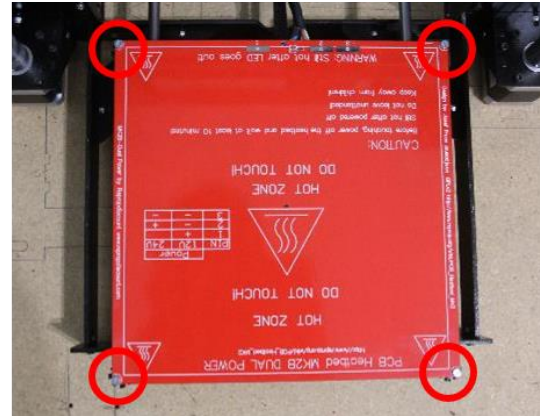
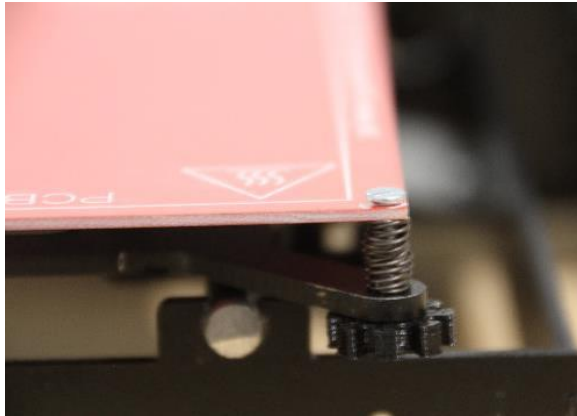
1. Coger el anterior conjunto (cama caliente y cableado). Posicionarla sobre la bandeja Y14 de modo que todo el cableado quede en la parte posterior de la impresora.



2. Unir la cama a la bandeja de la siguiente forma. En cada una de las esquinas de la cama, hacer pasar un tornillo M3x25 y, antes de que éste pase también por el soporte, introducir dos muelles de 2cm (C33). En el extremo opuesto, enroscar una tuerca M3 con tope (C34).



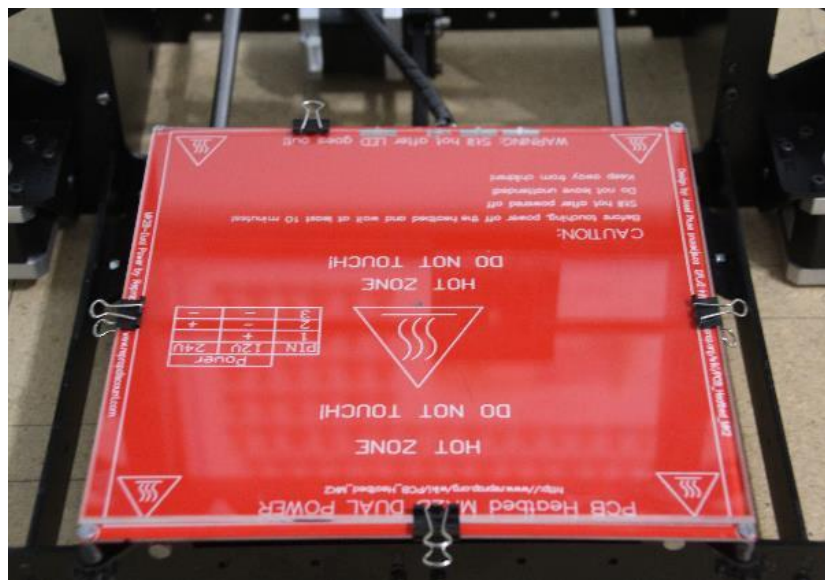
No apretar las tuercas M3 con tope más de lo necesario. Asegurar que todas las tuercas se enroscan lo mismo.
Los muelles se introducen juntos. No uno tras otro.



3. El plástico fundido nunca se depositará directamente sobre la cama caliente. Por eso, debe colocarse sobre ella una base cuadrada de vidrio de 20x20cm (C36). Como la anterior superficie debe ser fácilmente removible tras cada impresión, se une a la cama caliente mediante 4 pinzas negras tipo clip (C37). Una por cada lado.



No es imprescindible colocar la base de vidrio durante el proceso de montaje.
Solamente cuando vaya a realizarse cualquier impresión.



3.1.6. Eje X (parte 2)

En el apartado **Eje X (parte 1)** ya se montó gran parte de la estructura del eje X de la impresora. No se pudo acabar de ensamblar puesto que antes debía montarse todo lo relacionado con el eje Z.

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xD20 - Correa dentada
- 1xP16 - Polea GT2
- 1xM17 - Motor Nema 17 (L=46mm)

TORNILLOS Y TUERCAS

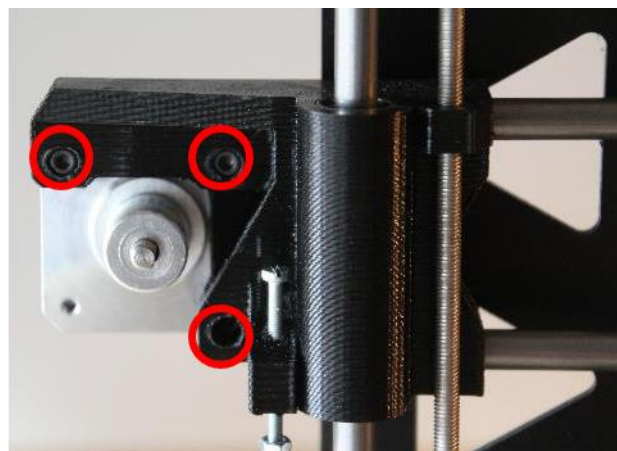
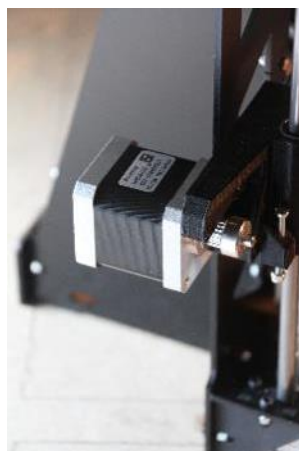
- Tornillos M3x10: 3

MATERIAL ADICIONAL

- Set de destornilladores

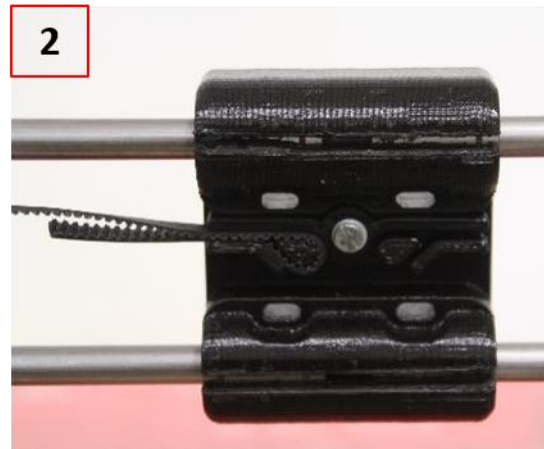
- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Ajustar una polea GT2 (P16) a un motor Nema 17 de L=46mm (M17) como se hizo en el paso 3 del apartado *Eje Y*.
2. Montar y atornillar con 3 tornillos M3x10 el motor anterior en la pieza X22, soporte impreso del motor de eje X. Fijarse en las figuras siguientes.

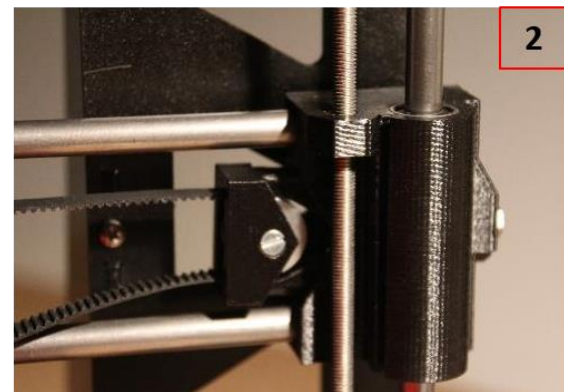
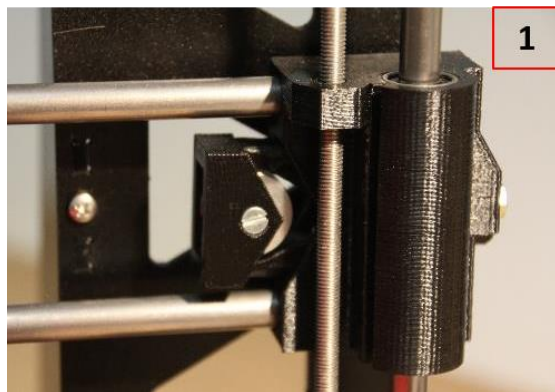


3. A continuación, se colocará la correa dentada del eje X. El dentado de esta debe mirar hacia el interior.

- a. Ajustar uno de los extremos de la correa en una de las ranuras de la parte posterior del *Carriage* (X25). El extremo debe doblarse sobre sí mismo, como muestra la figura.

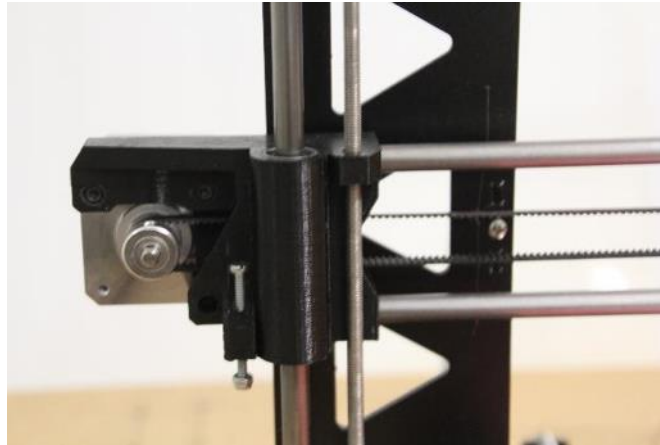


- b. Pasar la correa por la polea dentada del tensor (X24) de arriba hacia abajo. Previamente, retirar del *Idler* (X23) el tensor para facilitar el paso de la correa.



- c. Seguidamente, meter la correa por la polea GT2 del soporte impreso del motor de eje X (X22) y fijar el extremo restante en la otra ranura del *Carriage*, igual que se hizo en el primer paso.





- d. Tensar la correa todo lo posible. Si es necesario, se puede quitar un extremo y volverlo a fijar. Del mismo modo, ajustando el tensor X24 al Idler X23 se consigue tensar el sistema.

3.1.7. Finales de carrera

Es necesario colocar en cada eje un final de carrera o endstop para que indique la posición de inicio de cada eje. Están formados básicamente por una pieza de plástico impreso y un interruptor eléctrico.

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xF39 - Soporte impreso endstop X
- 1xF40 - Soporte impreso endstop Y
- 1xF41 - Soporte impreso endstop Z
- 3xF42 - Cableado inter. endstop
- 3xF43 - Interruptor endstop

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tuercas autoblocantes M3: 1
- Tuercas M3: 6
- Tornillos M3x10: 6
- Tornillos M3x12: 1

MATERIAL ADICIONAL

- Set de destornilladores

- ADVERTENCIAS PREVIAS -

Los soportes impresos de finales de carrera de los ejes X y Z se ajustan a las varillas lisas a presión. Si no se hace con suficiente cuidado y lubricándolo, ambas piezas pueden romperse. En caso de que no sean lo suficientemente gruesas, debe ponerse en contacto con el soporte técnico.

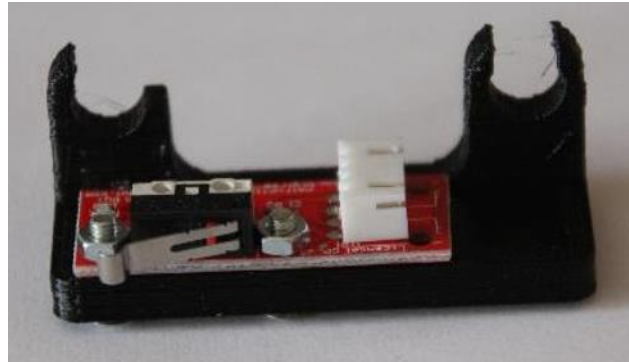
- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

Final de carrera eje X

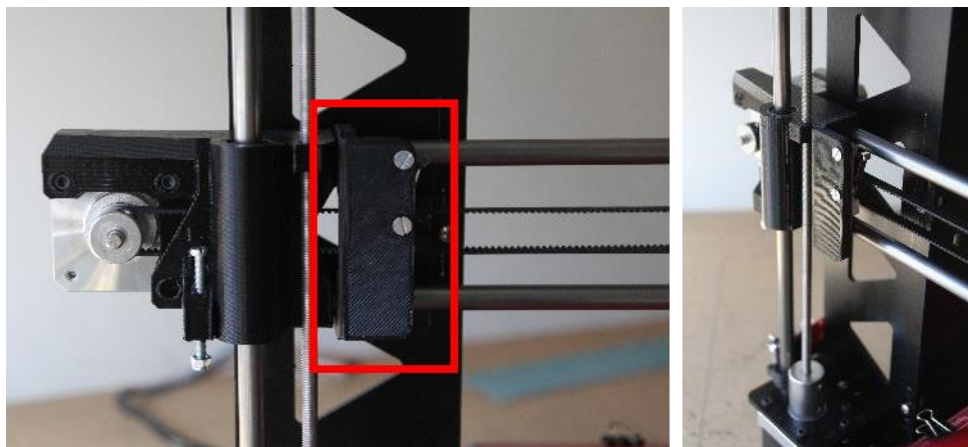
1. Añadir un interruptor de final de carrera (F43) al soporte impreso endstop X (F39). Emplear 2 tornillos M3x10 y 2 tuercas M3.



(Para todos los puntos '1') Ajustar el interruptor a la pieza impresa mediante los tornillos puede ser complicado porque los orificios pueden no coincidir. En esos casos, limar y rebajar la ranura donde se apoya el interruptor.



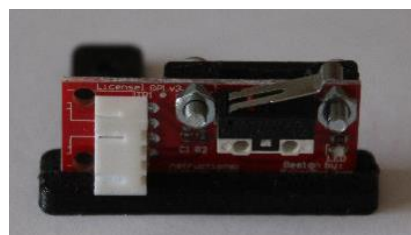
2. Incrustar a las dos barras lisas del eje X, a la izquierda del *Carriage*, el conjunto anterior. El interruptor debe apuntar hacia el *Carriage*.

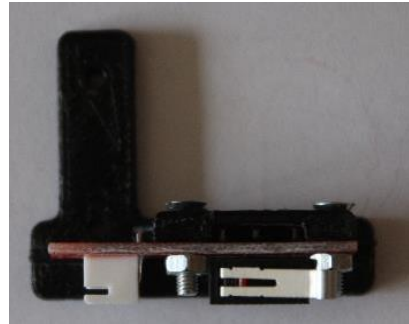


3. Conectar el pin hembra del cableado del endstop (rojo, negro y verde) en la ranura destinada para ello del interruptor.

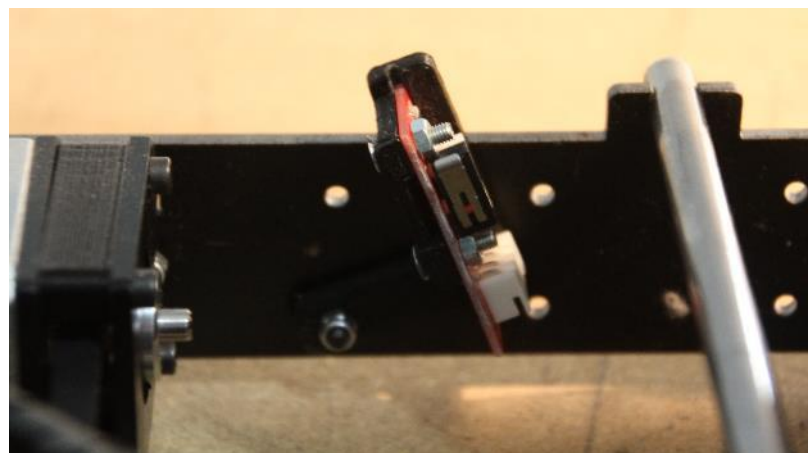
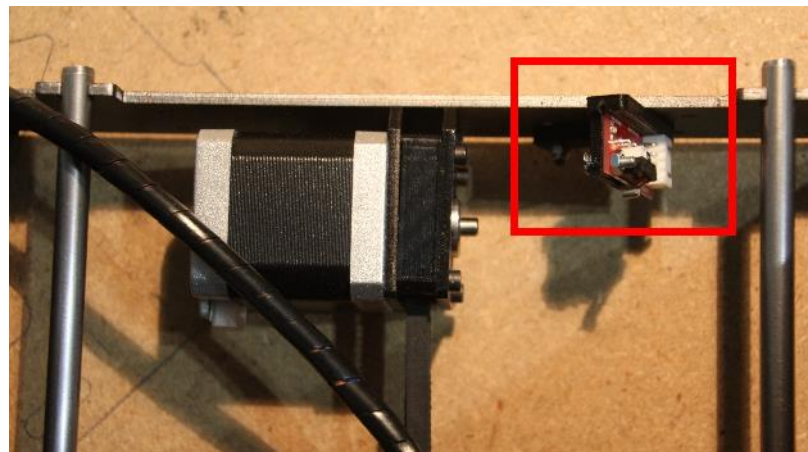
Final de carrera eje Y

1. Añadir un interruptor endstop (F43) al soporte impreso de fin de carrera Y (F40). Emplear 2 tornillos M3x10 y 2 tuercas M3.





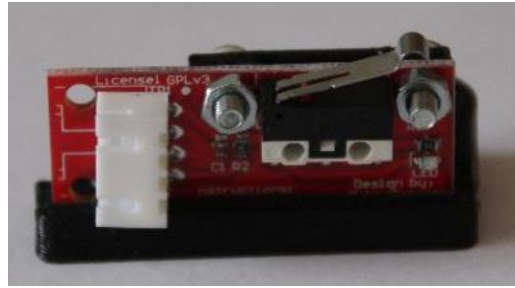
2. El conjunto anterior debe unirse a la travesa E05 posterior de la impresora con 1 tornillo M3x12 y una tuerca M3 autoblocante. Colocarlo tal y como se muestra en la figura. Inclinar la pieza para que la bandeja Y14 pueda ejercer presión sobre el interruptor cuando se retire hacia atrás.



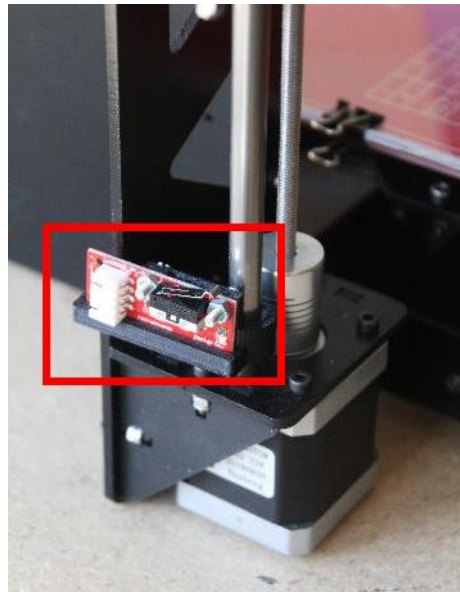
3. Conectar el pin hembra del cableado del endstop (F42) en la ranura destinada a ello del interruptor.

Final de carrera eje Z

1. Añadir un interruptor (F43) al soporte impreso de fin de carrera Z (F41). Emplear 2 tornillos M3x10 y 2 tuercas M3.



2. Ajustar el anterior conjunto a la varilla liza de la izquierda del eje Z. La ranura de la pieza impresa del interruptor debe acoplarse al borde del marco. Ver figuras.



3. Conectar el pin hembra del cableado del endstop (F42) en la ranura destinada a ello del interruptor.

3.2. Extrusor MK8

El conjunto del extrusor viene desmontado en componentes a diferencia de otros modelos de impresora o kits que proveen modelos ensamblados o preensamblados. El motor Nema 17 de 40mm queda montado sobre la pieza Carriage (parte forntal).

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xM59 - Motor Nema 17 (L=40mm)
- 1xK48 - Soporte extrusor
- 1xK49 - Rueda dentada extrusor
- 1xK50 - Disipador de calor extrusor
- 1xK51 - Hotend
- 1xK57 - Cable alimentación hotend
- 1xV52 - Ventilador
- 1xK53 - Gatillo
- 1xK54 - Muelle L=45mm
- 1xK55 - Rodamiento D=12mm
- 1xK56 - Casquillo
- 1xK58 - Cable con termistor hotend

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tornillos M3x50: 2
- Tornillos M3x16: 1
- Tornillos M3x40: 2
- Tornillos cab. esfer. M3x5: 1
- Tornillos inox. M4x15: 1
- Tornillos inox. M5x8: 1
- Tornillos inox. M4x20: 1
- Arandelas M3: 6

MATERIAL ADICIONAL

- Set de destornilladores
- Kit de llaves Allen
- Llave inglesa

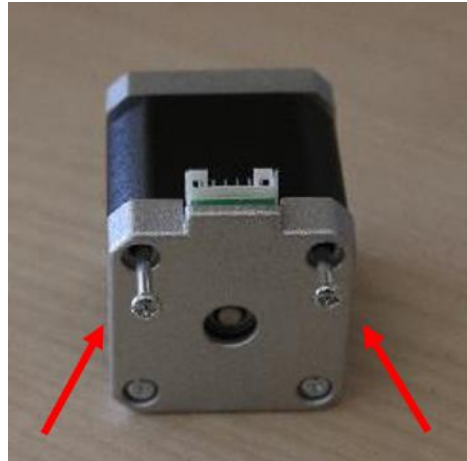
- ADVERTENCIAS PREVIAS -

El motor Nema 17 empleado para el conjunto del extrusor es distinto a todos los motores instalados anteriormente. Para este caso, se utiliza uno más pequeño de altura L=40mm mientras que el resto eran de L=46mm.

Antes de seguir adelante, asegurarse que ninguno de los motores de los ejes X, Y y Z es de 40mm de altura. En caso de error, sustituirlo.

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Desatornillar del motor Nema 17 L=40mm (M59) los dos tornillos del lado del conector de pines.



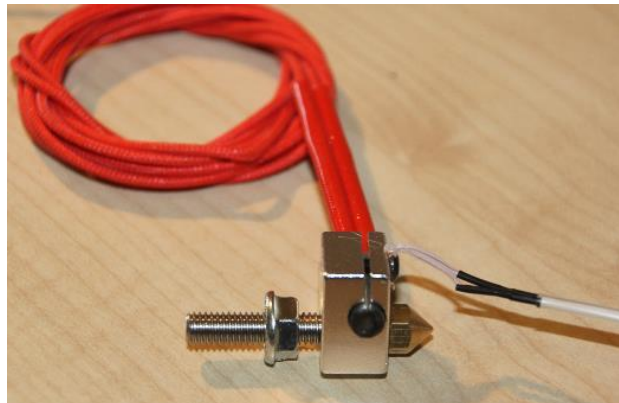
2. Montar el soporte de extrusor (K48) sobre el motor Nema 17 (M59) en la cara del eje con un tornillo M3x5. La parte sobresaliente del soporte debe quedar en el lado contrario que los pines. El anterior tornillo se ajusta en el orificio superior derecho del K48.



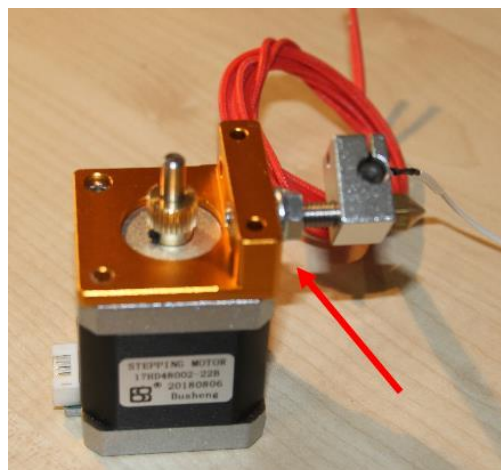
3. Acoplar la rueda dentada (K49) en el eje del motor, fijándola con los dos pequeños tornillos roscados ya montados en la misma rueda.



4. Por otro lado, montar en el hotend (K51) los cables de alimentación (K57) y con termistor (K58) apretándolos con los tornillos presentes en la boquilla.



5. Atornillar el hotend (K51) a la parte inferior del soporte (K58). Se fija mediante la tuerca incorporada en el mismo tornillo del hotend. Dejar la pieza que fija los cables K57 y K58 paralela al soporte.



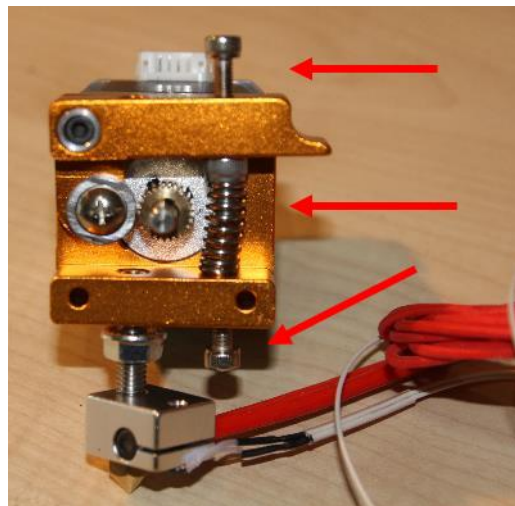
6. Tomar el gatillo (K53) y montar en éste las siguientes piezas: casquillo (K56), rodamiento D=12mm (K55), un tornillo M3x16, un tornillo de cabeza esférica M3x5 y uno inoxidable M4x20.

El tornillo M3x16 se coloca dentro del casquillo K56 y ambos se insertan en el orificio con mismo diámetro que K56. El tornillo con cabeza esférica se pasa por el interior del rodamiento (K55) y se fijan en el orificio de la misma cara que el anterior. Finalmente, el tornillo inoxidable M4x20 se introduce en el orificio del extremo del gatillo por la cara superior.

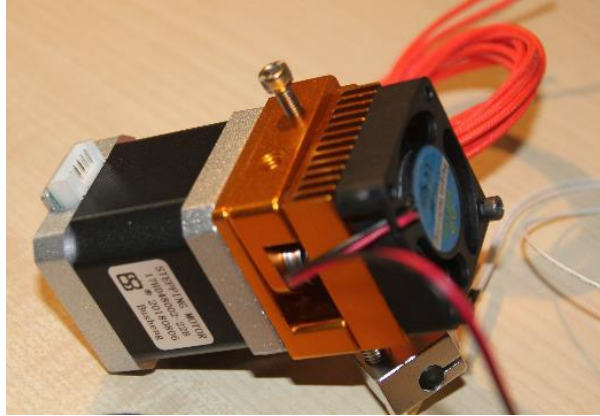


7. Tomar el conjunto formado por el gatillo anterior y, junto con un muelle (K54), un tornillo M5x8 y uno M4x15, montarlo al soporte K48.

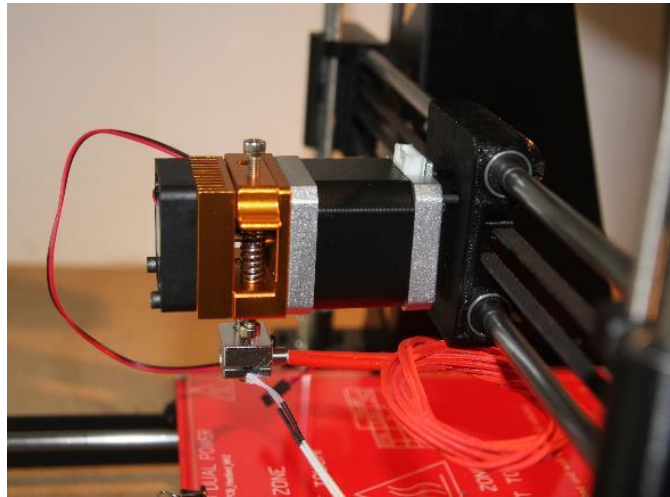
Para ello, primero atornillar el tornillo M3x16 del paso anterior en el orificio superior izquierdo del soporte. Después, introducir el tornillo M4x15 por el muelle y, quedando la cabeza del tornillo dispuesta arriba, posicionar ambos en el mismo eje donde se situaba el tornillo M5x8 del paso 6. Por último, por el orificio derecho de la cara inferior del soporte, atornillar un tornillo M4x20.



8. El ventilador (V52) y el dissipador de calor (K50) se añaden al anterior conjunto con la ayuda de dos tornillos M3x40 que pasan por los orificios de ambas piezas. Dichos tornillos quedan atornillados en los dos huecos inferiores del soporte K48.



9. El grupo del extrusor se acopla a la estructura de la impresora en el Carriage empleando 2 tornillos M3x50 y seis arandelas (tres por tornillo). Los pines del motor deben quedar mirando hacia arriba.



3.3. Electrónica

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xR64 - Conector hembra alimentación Ramps 1.4
- 11xR65 - Jumpers
- 1xR66 - Ramps 1.4 Shield
- 1xR67 - Arduino Mega 2560
- 4xR68 - Cilindro impreso L = 10mm, D = 9mm
- 1xR74 - Adaptador pantalla LCD a Ramps
- 1xR77 - Cable con enchufe a AC (L, T, N)
- 1xR79 - Tiras velcro doble cara adhesivas
- 2xR80 - Cable marrón conexión Ramps a fuente de alimentación
- 2xR81 - Cable azul conexión Ramps a fuente de alimentación
- 2xR69 - Soporte impreso ventilador electrónica
- 1xR70 - Fuente alimentación 220V - 12V
- 4xR71 - Stepper Drivers / Pololus
- 1xR73 - Cableado rojo/negro ventilador
- 4xR72 - Disipador de calor pololus
- 2xR75 - Cable conexión pantalla LCD
- 5xR76 - Cableado alimentación motores
- 2xR78 - Cable corrugado plástico D=7mm

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tornillos M3x16: 4
- Tuercas M3: 4

MATERIAL ADICIONAL

- Set de destornilladores
- Destornillador punta estrella fino cerámico
- Multímetro
- Pelacables

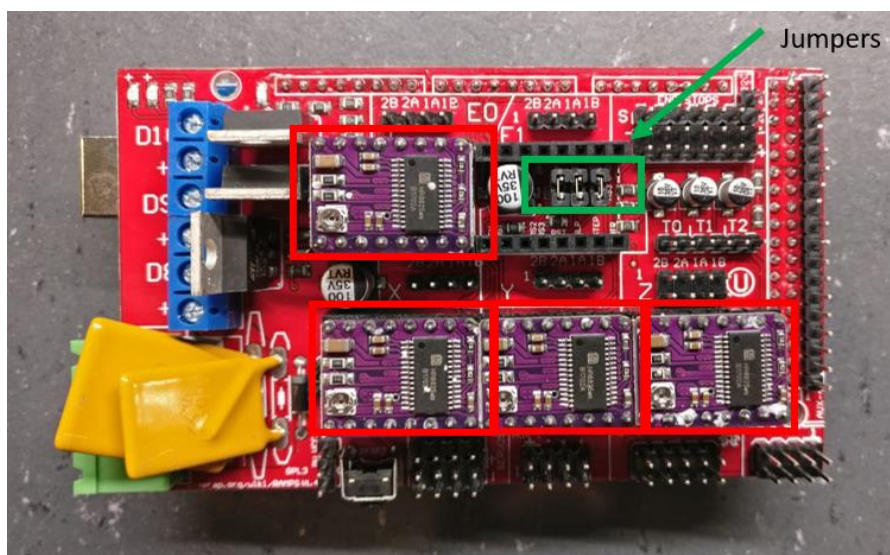
- ADVERTENCIAS PREVIAS -

- Tratar con delicadeza todos los componentes electrónicos, especialmente la placa Arduino Mega, la Ramps 1.4 y los pololus.
- A lo largo del proceso de montaje, prestar especial atención al orden de los cables conectados a la Ramps y a la fuente de alimentación. Una mala conexión puede estropear los elementos electrónicos o crear un cortocircuito.
- El montaje de cualquier cable o componente tanto a la placa base o Ramps como a la fuente de alimentación debe realizarse con el sistema totalmente desconectado de la red.

3.3.1. Preparación fuente de alimentación y Ramps 1.4

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Acoplar la Ramps 1.4 (R66) sobre la placa Arduino Mega 2560 (R67) prestando atención a la correcta colocación. Los pines macho de la parte inferior de la Ramps deben ajustarse a los pines hembra del Arduino.
2. Fijar sobre la Ramps los 15 jumpers (R65) disponibles. Se colocan en grupos de tres en los pines macho bajo la posición donde irán posteriormente los stepper drivers.
3. Introducir cada uno de los 4 stepper drivers DRV8825 en los pines que tocan de la Ramps. Véase imagen superior. Todos los jumpers son iguales y deben ir colocados del mismo modo. Acto seguido, poner un disipador de calor (R72) a cada pololu.



4. Coger la fuente de alimentación y conectar los siguientes cables de la forma que sucede:
 - a. **Cable con enchufe a corriente alterna (R77)** (fuente de alimentación – toma de corriente)

Pelar el extremo del cable para separar cada uno de los tres cables interiores (línea, tierra y neutro). La punta de estos también deberá pelarse.



Cuando se pele el cable con enchufe a corriente alterna (R77), debe evitarse dañar los tres cables dentro de éste (línea, tierra y neutro).

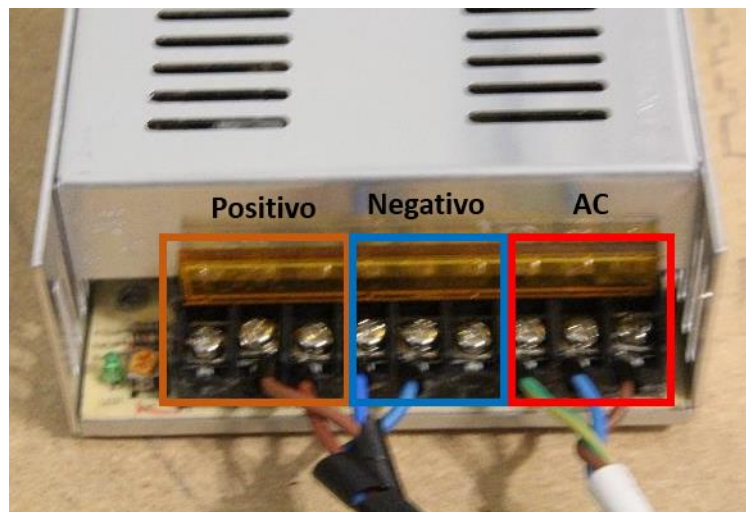
Conectar cada uno de los cables a la ranura de corriente alterna de la fuente de alimentación, siguiendo el orden:

- Cable azul -> Neutro
- Cable marrón -> Línea
- Cable Amarillo/Verde -> Tierra

b. **Cables 2x marrón + 2x azul** (Ramps a fuente de alimentación)

Dos pares de cable marrón y cable azul se conectan a los terminales DC de la fuente de alimentación.

- Cables marrones -> Borne +
- Cables azules -> Borne -



5. Asegurar que el switch de la fuente de alimentación (lateral) está en 220V. Para la mayoría de los países europeos como España, NO debe estar a 110V.

¡Mucho cuidado! Si el switch de la fuente de alimentación está a 110V y la red proporciona 220V, se podrían dañar gravemente los elementos electrónicos.



6. Introducir el conector hembra de alimentación de la Ramps (R64) en el conector macho de la propia Ramps.
7. Pasar cada par de cables (marrón + azul) del paso 4.b por un corrugado de plástico de 7mm de diámetro (R78).

8. Conectar los extremos opuestos de los cables de corriente directa al conector hembra (R64) según la polaridad de cada pin. Un par de cables (azul + marrón) van a la ranura de 11V y otro a la de 5V.

Las cuatro ranuras (pines) del conector hembra de la Ramps están intercaladas (+) y (-).



9. Enchufar conjunto a la red eléctrica.

3.3.2. Regulación Stepper Drivers DRV8825

El siguiente apartado explica de forma precisa el método óptimo para regular los potenciómetros de los stepper drivers DRV8825 anteriormente colocados sobre la Ramps 1.4. Existen otras formas de realizar dicha regulación, pero la presentada bajo estas líneas es la más sencilla y directa.

En nuestro caso, se regulará el potenciómetro midiendo la diferencia de potencial (volts) entre éste y una toma a tierra mediante un multímetro en mV (DC).

Aunque el voltaje en el pololu es muy reducido (del orden de mV), se recomienda desconectar el sistema de la corriente cada vez que se vaya a regular/girar el potenciómetro.

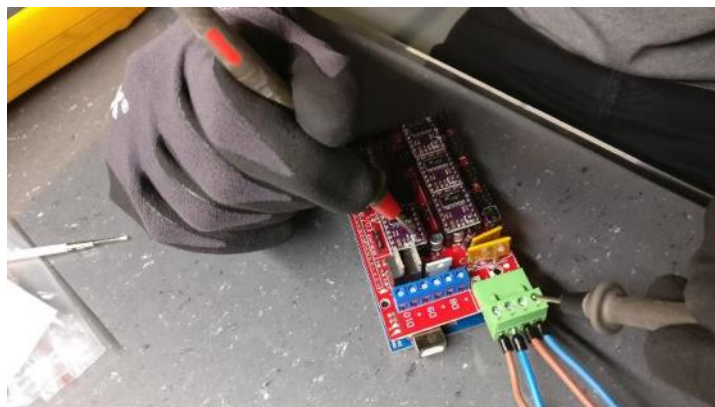


Los potenciómetros de cada pololu deben trabajar bajo los siguientes valores de tensión:

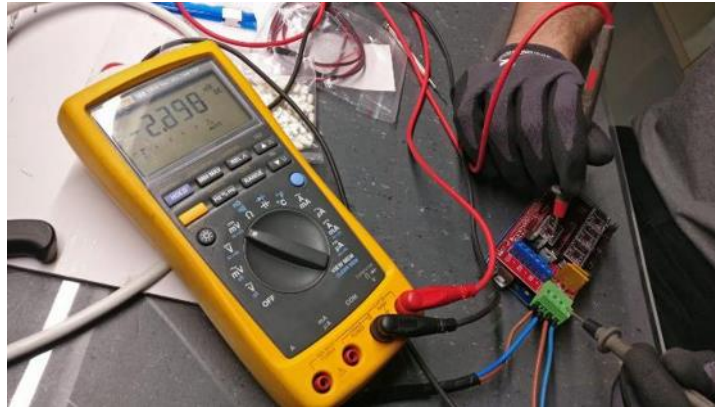
- *Extrusor y eje Z* -> **850mV**
- *Ejes X e Y* -> **750mV**

El proceso a seguir es el siguiente:

1. Con el multímetro midiendo en mV en DC, colocar el positivo/rojo en el hueco del potenciómetro y el negativo/negro en cualquier toma a tierra de la Ramps.



2. Analiza el valor que aparece en pantalla, prestando atención al pololu que se está regulando y el criterio de mV anterior.



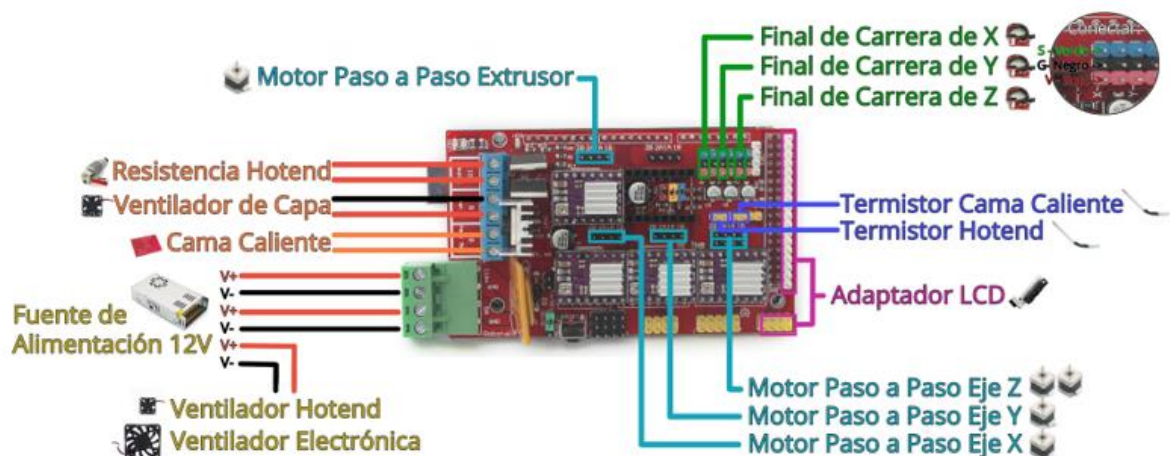
3. Para aumentar o reducir los **mV**, girar el potenciómetro con cuidado en el sentido de las agujas del reloj (reducir) o en contra (aumentar) según convenga hasta aproximarse al valor deseado.

Emplear un pequeño destornillador con punta fina de estrella y cerámica para girar el potenciómetro.

Repetir el anterior proceso **4 veces**, una por cada pololu.

3.3.3. Conexionado a Ramps 1.4

Uno de los últimos pasos del montaje de la impresora es conectar cada uno de los componentes eléctricos que requieren ser controlados por la placa Arduino a la Ramps. Para ello se emplearán todo el conjunto de cables incluidos en el kit y un pequeño esquema que ilustre en qué pines se conecta cada elemento.



Esta actividad debe realizarse con la fuente de alimentación desconectada de la red eléctrica.

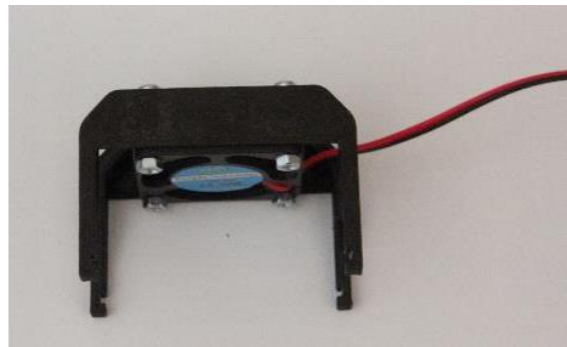
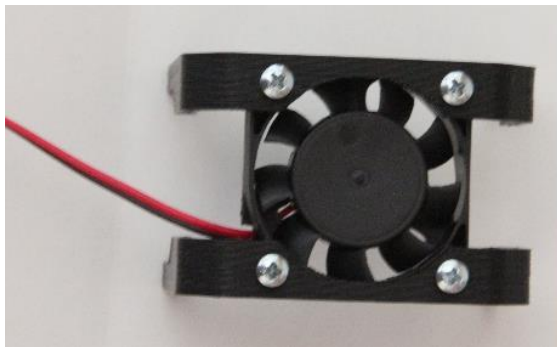
- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. **Conexión de los motores o step motors: Eje Y, Eje X, Eje Z (x2) y Extrusor.** Cada uno de ellos se une a la Ramps en la colección de pines encima de sus pololus correspondientes. Véase anterior imagen.

La posición de cada motor es única y no puede intercambiarse por ningún otro. Hacer uso del cableado R76 de 4 cables (rojo, verde, negro, azul) para conectarlos entre sí.

Los motores del eje Z se conectan en la serie de 8 pines, paralelos 4 a 4.

2. **Conexión endstops: Eje X, Eje Y y Eje Z.** Conectarlos en los pines macho de la Ramps bajo nombre "S-End Stops".
3. **Conexión termistores: Cama caliente y Hotend.** Ambos deben conectarse en los pines T1 y T0 respectivamente.
4. **Conexión ventilador extrusor.** Se conecta en el pin "12V AUX", tras los pines hembra de alimentación de la Ramps.
5. **Conexión ventilador de la electrónica.** En este caso, se conecta directamente en las salidas de la **fuentes de alimentación** de 12V.
6. **Conexión Hotend.** Emplear la entrada **D9**. Pelar previamente las puntas del cable rojo que lo conecta a la Ramps.
7. **Conexión cama caliente (azul y marrón).** Entrada **D8**. Por asignación, el cable positivo es el azul, mientras que el marrón va al terminal negativo.
8. **Acoplar adaptador pantalla LCD (R74).** Debe añadir en el extremo de la Ramps cercano a la conexión de los Endstops y los motores del eje Z.
9. **Conexión cableado pantalla LCD.** Por el momento, conectar uno de los extremos ambos cables (R75) al anterior adaptador. Más adelante se conectarán los otros extremos a la pantalla LCD.
10. Montar el soporte impreso del ventilador de electrónica (R69) con el tal ventilador empleando 4 tornillos M3x16 y 4 tuercas M3. Véase imagen.



3.3.4. Ensamblaje de la electrónica a la estructura

Finalmente, sólo queda ensamblar la fuente de alimentación y el conjunto Arduino + Ramps 1.4 a la impresora. Los cables que conectan el primer dispositivo con la Ramps se acabarán ajustar una vez ambos estén fijados a la estructura.

Se debe tener especial cuidado con el gran número de cables conectados a la Ramps.

Adicionalmente, para este apartado serán necesarios **3 tornillos M3x25** y sus respectivas **tuercas M3 autoblocantes**.



En caso de tener problemas con la fijación del Arduino + Ramps a la estructura, se puede cambiar el orden de los apartados. Primero fijar la fuente de alimentación y el anterior conjunto y luego conectar todos los cables.

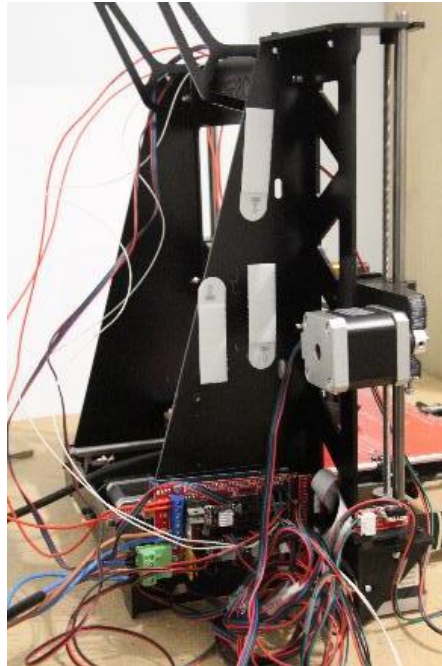
- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Fijar el conjunto del Arduino + Ramps 1.4 en el lateral izquierdo de la impresora. Es decir, sobre la pieza E03. Como podrá verse, en la parte inferior de dicha pieza hay 4 agujeros pasantes destinados a la placa base.

Se debe pasar 3 tornillos M3x25 y 3 tuercas M3 por cada uno de los tres orificios de las esquinas de la Ramps, luego por los del Arduino y finalmente por la chapa metálica.

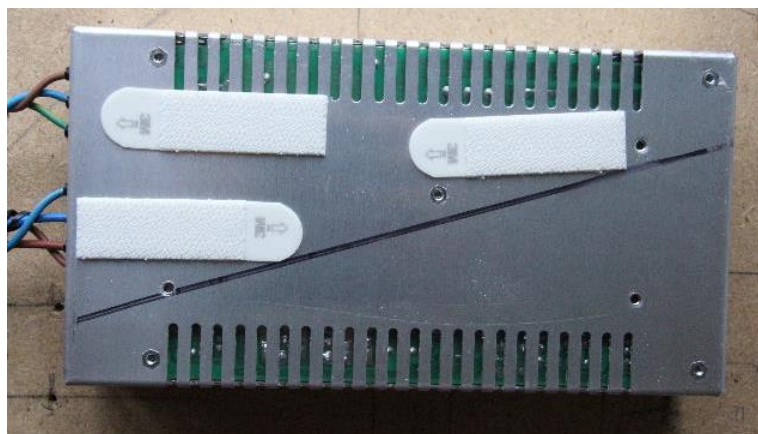


La Ramps debe colocarse de una forma determinada. El adaptador de la pantalla LCD debe quedar cerca del marco E02 de la estructura. Así los cables que alimentan la placa no tendrán ningún tipo de interferencia.

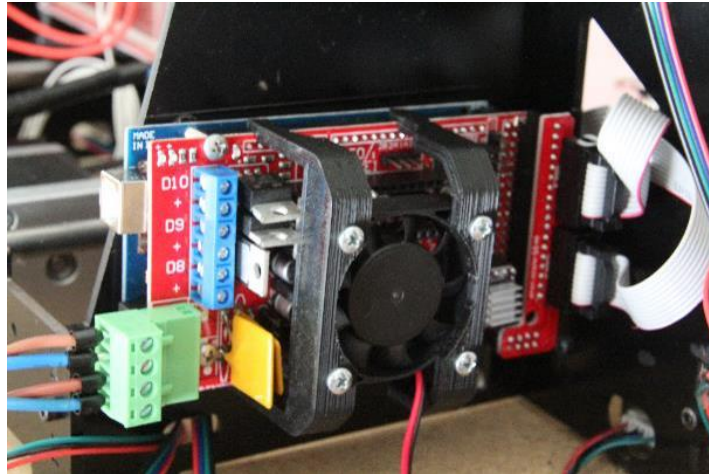


2. Con el uso de las cintas de velcro adhesivas de doble cara (R79), fijar la fuente de alimentación justo por encima del Arduino. Dejar el espacio suficiente para que hay suficiente espacio para los cables que se conectan en el inferior de la fuente.

Debe intentarse que haya la máxima área de chapa de la fuente de alimentación en contacto con la superficie de la pieza E03.



3. Colocar el ventilador de la electrónica justo en paralelo a la base de la RAMPS. El ventilador se ajusta a ella gracias a las muescas que tienen el soporte impreso que la aguenta.



4. Conectar el ventilador de la electrónica (si no se hizo previamente) directamente a la fuente de alimentación. El cable rojo debe introducirse en la salida de 12V (+) y el negro en la (-).
5. Por último, conexionar la fuente de alimentación con la Ramps 1.4 con 4 cables (2 marrones y 2 azules), tal y como se explicó en el paso 8 del apartado "Preparación fuente de alimentación y Ramps 1.4".

3.4. Pantalla LCD y portafilamento

3.4.1. Pantalla LCD

El siguiente proceso de montaje incluye el ensamblaje de todos los componentes de la pantalla LCD. Debe recordarse que el cableado que conecta la pantalla con la Ramps 1.4 ya fue conectado en el apartado 3 "Electrónica".

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 1xL44 - Carcasa pantalla LCD
- 1xL45 - Botón reset
- 1xL46 - Botón control de pantalla
- 1xL47 - Pantalla LCD

TORNILLOS Y TUERCAS

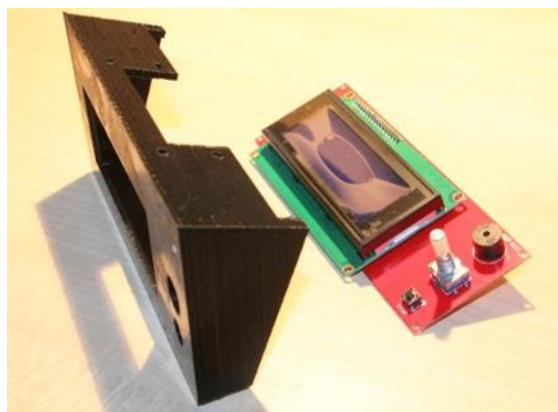
- Tuercas autoroscantes M3: 4
- Tornillos M3x8: 4
- Tuercas M3: 4

MATERIAL ADICIONAL

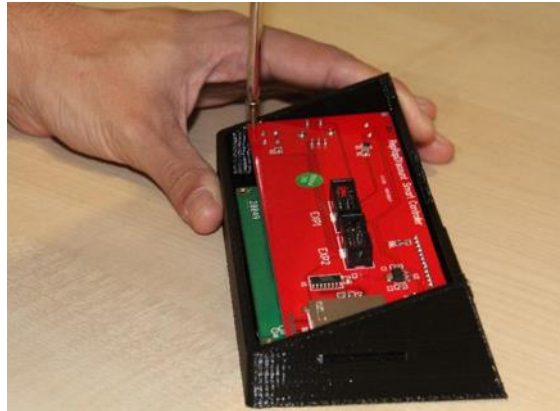
- Set de destornilladores

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Meter la pantalla LCD (L47) en el interior de la carcasa L44. La pantalla debe quedar mirando hacia el exterior y los botones coincidir con los orificios de la carcasa.



2. Atornillar en cada una de las esquinas de la parte trasera de la pantalla LCD 4 tornillos autoroscantes M3. La misma carcasa tiene 4 agujeros donde se ajustan dichos tornillos.



3. Acoplar todo el conjunto a la pieza E05 frontal de la impresora. Emplear 4 tornillos M3x8 y 4 tuercas M3.
4. Por último, colocar los botones de control de pantalla (L46) y de reset (L45) en sus posiciones correspondientes de la carcasa. Conectar el cableado que alimenta la pantalla LCD procedente de la RAMPS 1.4. Debe prestarse atención al pin que se conecta cada cable dependiendo del que esté conectado en la RAMPS (EXP1 o EXP2).



3.4.2. Portafilemento

- MATERIAL -

MATERIAL NECESARIO

- 2x B10 - Soporte bobina
- 1x B11 - Varilla roscada M8 soporte bobina

TORNILLOS Y TUERCAS

- Tuercas autoblocantes M8: 2
- Tornillos M3x12: 2
- Tuercas autoblocantes M3: 2

MATERIAL ADICIONAL

- Kit de llaves Allen

- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE -

1. Ensamblar las dos piezas de soporte de bobina (B10) a banda y banda de la parte superior trasera del marco de la estructura. Deben apuntar hacia arriba. Cada una se ajusta a la estructura mediante 1 tornillo M3x12 y 1 tuerca M3 autoblocante.



2. La varilla roscada (B11) que sujeta la bobina de filamento se apoya en las dos piezas B10. En caso de no tenerlas, enroscar dos tuercas M8 autoblocantes a banda y banda de las varillas roscada.



3. Pasar la bobina de filamento por la varilla B11.

3.5. Instalación software

A continuación, se explica cómo instalar el software Arduino IDE, para la carga y edición del firmware (Marlin), y de Cura, el programa de laminación y control de la impresora.

3.5.1. Arduino IDE

Como bien se ha comentado anteriormente, Arduino IDE es el software de código abierto desarrollado por Arduino para la edición de código y posterior carga a la placa. Trabaja en todas las SO más comúnmente empleados (Windows, MAC OS X y Linux).

El enlace directo para la descarga del instalador para cualquier de los anteriores sistemas operativos es el siguiente:

[Enlace descarga Arduino IDE](#)

Aunque la placa base Arduino Mega 2560 aportada en este kit tiene instalado el firmware Marlin, acto seguido se explica cómo subir el firmware a Arduino Mega.

1. Tras descargar Arduino IDE, conecte la Arduino Mega al ordenador mediante un cable USB incluido en el kit.
2. Después, abra el archivo "Marlin.ino" en la pestaña Archivo de Arduino IDE. Recuerde que dispone del firmware en la SD que ofrece el kit.
3. Una vez abierto, debe seleccionar la placa y el procesador con los que trabaja. Para este caso, vaya a Herramientas y en las siguientes opciones seleccione lo siguiente:
 - **Placa** -> Arduino/Genuino Mega or Mega 2560
 - **Procesador** -> ATMEGA 2560
 - **Puerto** -> (puerto COM predeterminado al conectar la placa al ordenador)
4. Finalmente suba Marlin a su placa Arduino Mega haciendo clic en el botón de arriba a la izquierda que emula una flecha apuntando hacia la derecha.
5. Espere unos segundos hasta que Arduino IDE le comunique que el proceso ha finalizado.

3.5.2. CURA

Cura es el software desarrollado por Ultimaker para preparar cualquier diseño 3D para impresión. Dicho de otro modo, se encarga de que finalmente el sólido a imprimir se guarde en un formato G-Code que la impresora sea capaz de interpretar. Entre otras funciones, Cura permite la comunicación/control de los parámetros de la impresora (mediante Pronterface) además del proceso de laminado.

La tarjeta SD incluida en el kit dispone de la versión para Mac y Windows de dicho software. De todos modos, puede encontrar un enlace directo a continuación.

[Enlace descarga Ultimaker Cura 4.0](#)

Para instalar Cura, debe ejecutar el instalador.

Los siguientes enlaces facilitan información sobre la interfaz y el primer uso de Cura, respectivamente.







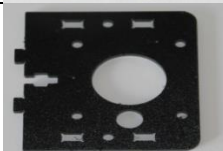
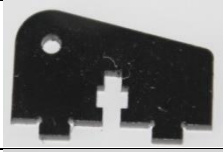
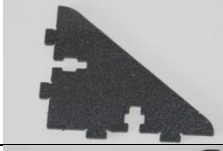

[Interfaz Ultimaker Cura 4.0](#)

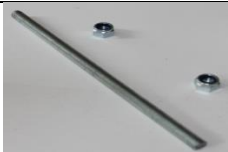

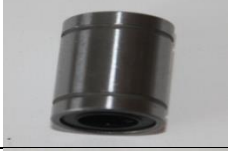








[Primer uso Ultimaker Cura 4.0](#)

Por último, entre en el siguiente enlace en caso de querer solventar cierto tipo de problema que se haya encontrado con el programa.

[Cura Troubleshooting](#)



4. Listado de material

	Denominación	Qtd.	Imagen
E01	Soporte derecha. estructura	1	
E02	Estructura vertical	1	
E03	Soporte izquierda. estructura	1	
E04	Esquinera	2	
E05	Travesera base estructura	2	
E06	Soporte motor eje X	2	
E07	Soporte motor eje Z	2	
E08	Soporte polea dentada	2	
E09	Escuadra sujeción soporte Z	4	
B10	Soporte bobina	2	

B11	Varilla roscada M8 soporte bobina	1	
Y12	Soporte rodamiento	4	
Y13	Rodamiento LM8UU	4	
Y14	Bandeja	1	
Y15	Varilla lisa eje Y (370mm)	2	
P16	Polea GT2	2	
M17	Motor Nema 17 (L=46mm)	4	
Y18	Separador impreso U	1	
P19	Polea sincronizadora	2	
D20	Correa dentada	2	
Y21	Sujeción correa eje Y	2	

X22	Soporte impreso motor eje X	1	
X23	<i>Idler</i> impreso eje X	1	
X24	Tensor impreso eje X	1	
X25	<i>Carriage</i> impreso eje X	1	
X26	Varilla lisa eje X (390mm)	2	
Z27	Acoplador 5x5	2	
Z28	Varilla lisa eje Z (325 mm)	2	
Z29	Codo de acero	2	
Z30	Varilla roscada M5x300	2	
Z31	Guia plástico p/varilla roscada	2	
C32	Base cama caliente 21.5x21.5	1	

C33	Muelle 2cm	8		
C34	Tuerca M3 con tope impreso	4		
C35	Cable alimentación cama caliente	2		
C36	Base de vidrio 20x20	1	-	
C37	Pinza negras tipo clip	4		
C38	Cable con termistor	1		
F39	Soporte impreso endstop X	1		
F40	Soporte impreso endstop Y	1		
F41	Soporte impreso endstop Z	1		
F42	Cable inter. endstop	3		
F43	Interruptor endstop	3		
L44	Carcasa pantalla LCD	1		
L45	Botón reset	1		

L46	Botón control de pantalla	1		
L47	Pantalla LCD	1		
K48	Soporte extrusor	1		
K49	Rueda dentada extrusor	1		
K50	Disipador de calor extrusor	1		
K51	Hotend	1		
V52	Ventilador	2		
K53	Gatillo	1		
K54	Muelle L=25mm	1		
K55	Rodamiento D=12mm	1		
K56	Casquillo	1		

K57	Cable alimentación hotend	1		
K58	Cable con termistor hotend	1		
M59	Motor Nema 17 (L=40mm)	1		
K60	Tornillo inox. M4x15	1		
K61	Tornillo inox. M5x8	1		
K62	Tornillo inox. M4x20	1		
K63	Tornillo inox. Cabeza esférica	1		
R64	Conector hembra alimentación RAMPS 1.4	1		
R65	Jumpers	11		
R66	Ramps 1.4 shield	1		
R67	Arduino Mega 2560	1		

R68	Cilindro impreso L = 10mm, D = 9mm	4	
R69	Soporte impreso ventilador electrónica	2	
R70	Fuente alimentación 220V – 12V	1	
R71	Stepper drivers / Pololus DRV8825	4	
R72	Disipador de calor pololus	4	
R73	Cableado rojo/negro para ventilador	1	
R74	Adaptador pantalla LCD a Ramps	1	
R75	Cable conexión pantalla LCD	2	
R76	Cableado alimentación motores DC	5	
R77	Cable con enchufe a corriente alterna (L,T,N)	1	
R78	Cable corrugado plástico D = 7mm	2	
R79	Tiras de velcro doble cara adhesivas	1	
R80	Cable marrón conexión Ramps a fuente de alimentación	2	

R81	Cable azul conexión Ramps a fuente de alimentación	2	
R82	Tarjeta SD (incluye Marlin y ejecutable CURA)	1	
R83	Cable USB conexión a Arduino Mega	1	